O CUDOWNYCH
I NIEBEZPIECZNYCH
SUBSTANCJACH,
KTÓRE WPŁYWAJĄ
NA NASZE ŻYCIE

MARK MIODOWNIK

CIECZ

PRZEKŁAD DARIUSZ ŻUKOWSKI
288 STRON, 13 ROZDZIAŁÓW
25 ILUSTRACJI, 1 TABELA

Mark Miodownik

Ciecz

O cudownych i niebezpiecznych substancjach, które wpływają na nasze życie

przełożył Dariusz Żukowski

Wydawnictwo Karakter 2020

Spis treści

Wprowadzenie
Wybuchowa
Trująca
Głęboka
Kleista
Fantastyczna
Organiczna
Orzeźwiająca
Oczyszczająca
Odświeżająca
Nieusuwalna
Chmurna
Lita
Odnawialna
Epilog

Polecana lektura
Podziękowania
Źródła ilustracji

Pamięci moich ukochanych rodziców

Wprowadzenie

Podczas kontroli bezpieczeństwa na lotnisku skonfiskowano mi masło orzechowe, miód, pesto, pastę do zębów i, co najbardziej przykre, butelkę whisky single malt. W takich sytuacjach zawsze tracę zimną krew. Mówię rzeczy w stylu: „Chcę się widzieć z pana szefem!", albo: „Masło orzechowe to przecież nie płyn", choć wiem, że nie mam racji. Masło wykazuje zdolność przepływu i przybiera kształt zawierającego je naczynia, więc jest płynem. Mimo wszystko irytuje mnie fakt, że w dobie „inteligentnej" techniki ochrona na lotnisku wciąż nie potrafi odróżnić smarowidła do chleba od ciekłego materiału wybuchowego.

W 2006 roku zakazano przewożenia na pokładzie samolotu opakowań z płynem o objętości powyżej 100 mililitrów; od tamtego czasu w metodach detekcji nie zaszedł jednak zbyt wielki postęp. Maszyny rentgenowskie prześwietlają bagaż i alarmują ochronę, gdy wykryją podejrzane obiekty – suszarki kształtem przypominające pistolety czy pióra podobne do noży. Ale płyny są bezkształtne. Przybierają formę pojemnika. Technologia skanowania bagażu pozwala też określić gęstość substancji i niektóre z jej składników chemicznych. Lecz i tu pojawiają się problemy. Budowa cząsteczkowa wybuchowej nitrogliceryny jest podobna do budowy masła orzechowego. W obu występują węgiel, wodór, azot i tlen, a mimo to ta pierwsza eksploduje, to drugie zaś – cóż, jest po prostu pyszne. Istnieje ogromna liczba niebezpiecznych toksyn, trucizn, wybielaczy i patogenów, które – gdy trzeba działać szybko i skutecznie – niesłychanie trudno odróżnić od innych, nieszkodliwych płynów. Tym właśnie argumentem wielu

ochroniarzy na lotniskach (oraz ich zwierzchników) ostatecznie przekonuje mnie, naburmuszonego, że moje masło orzechowe czy jakaś inna zawierająca płyn buteleczka, którą jak zawsze zapomniałem wyjąć z bagażu podręcznego, naprawdę może stanowić poważne zagrożenie.

Płyny to alter ego porządnych, trwałych materiałów. O ile solidne tworzywa są wiernymi towarzyszami ludzkości, na zawsze przybierającymi formy ubrań, butów, telefonów, aut czy lotnisk, o tyle płyny ciekną. Przybierają jakiś kształt wyłącznie wtedy, gdy wleje się je do naczynia. W przeciwnym razie pozostają w ciągłym ruchu: przesączają się, powodują korozję, kapią i wymykają się nam spod kontroli. Gdy ustawi się gdzieś jakiś solidny obiekt, pozostanie on na miejscu (o ile nikt go nie usunie przy użyciu siły), a czasem nawet będzie robił coś pożytecznego, na przykład podpierał budynek czy dostarczał osiedlu elektryczność. Tymczasem wśród płynów panuje anarchia – lubią sobie coś zniszczyć. W łazience toczy się nieustanna walka o to, by woda nie przeciekała szczelinami ani nie gromadziła się pod posadzką, bo tam zaczyna naprawdę dokazywać: sprawia, że drewniane dźwigary gniją i pękają. Woda rozlana na gładkich kaflach grozi pośliźnięciem, prowadząc do niewyobrażalnie wielkiej liczby wypadków z poważnymi uszkodzeniami ciała. Gdy zbiera się w rogu łazienki, sprzyja rozwojowi czarnej, glutowatej pleśni oraz mikrobów, które mogą się wedrzeć do wnętrza naszego ciała i nas zainfekować. A mimo to ją kochamy. Uwielbiamy zanurzać się w wodzie, brać prysznic i się nią polewać. Ponadto łazienka nie byłaby łazienką bez baterii butelek czy tubek zawierających płynne mydła, szampony, odżywki, kremy i pasty do zębów. Rozkoszujemy się tymi cudownymi cieczami, choć jednocześnie spoglądamy na nie podejrzliwie: czy aby na

pewno nam nie szkodzą? Czy nie powodują raka? Nie niszczą środowiska? Gdy mowa o płynach, przyjemność i niebezpieczeństwo zawsze idą w parze. Ciecz jest z natury dwulicowa: ni to gaz, ni ciało stałe, tylko coś pomiędzy – coś zagadkowego i tajemniczego.

Weźmy na przykład rtęć, która oczarowywała i truła ludzkość przez tysiące lat. Jako dziecko nawet się nią bawiłem – toczyłem srebrzyste kulki po blacie, zafascynowany ich nieziemskim urokiem, dopóki nie uświadomiono mi, że są trujące. W wielu pradawnych kulturach uważano jednak, że rtęć przedłuża życie, leczy złamania i sprzyja zdrowiu. Nie wiadomo, dlaczego tak sądzono – być może dlatego, że jest jedynym metalem, który utrzymuje płynną postać w temperaturze pokojowej. Pierwszy chiński cesarz Qin Shi Huang zażywał pigułki z rtęcią dla poprawy zdrowia, lecz – prawdopodobnie z tego właśnie powodu – zmarł w wieku trzydziestu dziewięciu lat. Mimo to pochowano go w grobowcu z ornamentem rtęciowych potoków. Starożytni Grecy używali tego pierwiastka w maściach, a alchemicy wierzyli, że jego połączenie z inną elementarną substancją – siarką – stanowi podstawę wszelkich metali. Doskonała proporcja rtęci i siarki miała doprowadzić do powstania złota. Dało to asumpt błędnemu mniemaniu, że złoto można pozyskać z różnych metali, o ile zmiesza się je w odpowiednich proporcjach. Choć okazało się to nieprawdą, złoto rzeczywiście rozpuszcza się w rtęci, a gdy powstałą po jego wchłonięciu masę się podgrzeje, rtęć wyparuje, pozostawiając litą bryłkę złota. Dla większości dawnych społeczeństw proces ten był wprost magiczny.

Rtęć nie jest jedynym płynem, który potrafi wchłonąć inną substancję. Sól dodana do wody szybko znika – gdzieś jest, ale gdzie? Jeśli jednak wsypać ją do oleju, opadnie na dno nierozpuszczona. Dla-

czego? Płynna rtęć może wchłonąć złoto, lecz odrzuci wodę. Czemu tak się dzieje? Woda absorbuje gazy, w tym tlen – gdyby tak się nie działo, żylibyśmy w zupełnie innym świecie, ponieważ pierwiastek ten, rozpuszczony w wodzie, pozwala oddychać rybom. I choć woda nie jest w stanie przyjąć dość tlenu, by mogli nim oddychać ludzie, inne ciecze mają takie właściwości. Istnieje pewien olej, ciecz perfluorowana, który nie wchodzi w niemal żadne reakcje chemiczne ani elektrochemiczne. Telefon komórkowy zanurzony w naczyniu wypełnionym takim olejem wciąż będzie normalnie działał. Płyn ten daje się nasycić tlenem do tego stopnia, że można nim oddychać. Takie oddychanie – cieczą zamiast powietrza – znajduje wiele zastosowań. Najważniejszym z nich jest leczenie noworodków cierpiących na zespół zaburzeń oddychania (IRDS).

Woda w stanie ciekłym jest jednak krynicą życia, można w niej bowiem rozpuścić także cały wachlarz innych chemikaliów poza tlenem, w tym cząsteczki bazujące na węglu. W środowisku wodnym mogą więc powstać nowe, spontanicznie zrodzone organizmy. Tak przynajmniej głosi teoria. I to dlatego naukowcy poszukują na obcych planetach czy księżycach właśnie wody. Lecz woda jest rzadkim towarem we wszechświecie. Być może pod lodową skorupą Europy, jednego z księżyców Jowisza, istnieje wodny ocean. Niewykluczone, że woda jest także na Enceladusie, księżycu Saturna. Jednak spośród wszystkich planet Układu Słonecznego tylko na Ziemi duże ilości wody występują bezpośrednio pod gołym niebem.

Dzięki szczególnym właściwościom naszej planety temperatura i ciśnienie przy jej powierzchni pozwalają na istnienie wody w postaci ciekłej. Płynne, metaliczne jądro Ziemi, które generuje pole magnetyczne chroniące ją przed oddziaływaniem wiatru słonecznego, zapo-

biegło ulotnieniu się całej wody już przed miliardami lat. Krótko mówiąc, na naszej planecie jeden płyn pozwolił istnieć drugiemu, a to doprowadziło do powstania życia.

Ciecze bywają także niszczycielskie. Gąbka wydaje się miękka, ponieważ łatwo poddaje się zgniataniu – rzućcie się na wykonany z niej materac, a poczujecie, jak się pod wami ugina. Ciecze nie mają takiej właściwości. Zamiast tego następuje w nich przepływ – jedne cząsteczki natychmiast zajmują miejsca zwolnione przez inne. Zjawisko to widać, gdy ogląda się rzekę, płynącą z kranu wodę albo mieszaną łyżeczką kawę. Gdy uderzacie w powierzchnię wody po skoku do basenu, płyn musi ustąpić naciskowi ciała. Na przepływ potrzeba jednak czasu: przy dużej prędkości uderzenia woda nie rozstępuje się dość szybko i stawia opór. To za sprawą tej właśnie siły piecze nas brzuch, gdy skoczymy na deskę do basenu, a upadek z dużej wysokości na taflę wody przypomina uderzenie w beton. Niezdolność wody do kompresji jest również przyczyną niszczycielskiej siły fal, takich jak tsunami, które rujnują budynki i miasta, miotając samochodami niczym szczapkami drewna. W 2004 roku trzęsienie ziemi na Oceanie Indyjskim wywołało serię fal tsunami, które spowodowały śmierć 230 tysięcy ludzi w czternastu krajach. Pod względem skali zniszczeń był to ósmy spośród odnotowanych kataklizmów naturalnych.

Inną niebezpieczną cechą płynów są ich właściwości wybuchowe. Zaczynając pracę nad doktoratem na Oksfordzie, w ramach badań przygotowywałem kilka próbek do analizy pod mikroskopem elektronowym. W tym celu schładzałem tak zwany elektrolit do elektropolerowania – roztwór butoksyetanolu, kwasu octowego i kwasu nadchlorowego – do temperatury –20°C. Dowiedziałem się, jak to robić,

od innego doktoranta w laboratorium, Andy'ego Godfreya, i uznałem, że sobie poradzę. Jednak kilka miesięcy później Andy zauważył, że podczas procesu elektropolerowania często dopuszczam do wzrostu temperatury elektrolitu. „Lepiej uważaj" – powiedział ze zmarszczonymi brwiami, zaglądając mi przez ramię. Spytałem, w czym problem, na co wskazał mi ustęp laboratoryjnego podręcznika zagrożeń chemicznych:

> Kwas nadchlorowy wykazuje właściwości korozyjne i uszkadza tkanki ciała. W razie inhalacji, połknięcia bądź kontaktu ze skórą lub oczami może być groźny dla zdrowia. Podgrzany powyżej temperatury pokojowej lub w stężeniu przekraczającym 72 procent (w dowolnej temperaturze) staje się silnym utleniaczem. W razie polania lub zmieszania z kwasem nadchlorowym materiały organiczne są wyjątkowo podatne na samoczynny zapłon. Opary tego kwasu w systemach wentylacyjnych mogą zamieniać się we wrażliwe na wstrząsy nadchlorany.

Krótko mówiąc: może wybuchnąć.

Przeglądając zawartość laboratorium, odkryłem wiele podobnych przejrzystych, bezbarwnych płynów, w większości niemal nieodróżnialnych od siebie. Używaliśmy na przykład kwasu fluorowodorowego, który nie tylko potrafi przeżreć beton, metal i ciało, lecz także staje się trucizną zaburzającą działanie układu nerwowego w kontakcie ze skórą. Ma to straszliwe skutki: ofiara nawet nie czuje, kiedy kwas trawi jej ciało. Można łatwo przeoczyć przypadkowe ochlapanie.

Do kategorii trucizn zalicza się także alkohol. Zwłaszcza przyjmowany w wysokich dawkach zabił znacznie więcej osób niż kwas fluorowodorowy, odegrał jednak wielką rolę w społeczeństwach i kultu-

rach świata – przez wieki wykorzystywano go jako środek antyseptyczny, przeciwkaszlowy, przeciwbólowy i uspokajający, a także jako paliwo. Do jego najbardziej atrakcyjnych właściwości należy zaś tłumienie działania układu nerwowego – jest narkotykiem, substancją psychoaktywną. Wielu ludzi nie jest w stanie funkcjonować bez codziennej lampki wina, a podczas większości spotkań podaje się alkohol. Choć nie ufamy tego rodzaju cieczom (słusznie!), i tak je uwielbiamy.

Kiedy alkohol trafi do krwiobiegu, zaczynamy odczuwać jego wpływ na naszą fizjologię. Bicie serca wciąż przypomina nam o roli, jaką w organizmie odgrywa nieustannie krążąca krew. Funkcjonujemy tylko dzięki działaniu organicznej pompki, a kiedy przestaje ona działać, umieramy. Spośród wszystkich płynów na świecie krew jest dla nas zdecydowanie najważniejsza. Na szczęście serce można dziś wymienić, a żyły wokół niego pozszywać w innych konfiguracjach. Samą krew daje się uzupełniać lub odsysać, przechowywać, przekazywać innym, mrozić i rozmrażać. Bez banków krwi miliony osób poddawanych operacjom, rannych na wojnie lub poszkodowanych w wypadkach nie miałyby szans na przeżycie.

Krew może także zostać zainfekowana patogenami, takimi jak wirus HIV czy wirus zapalenia wątroby, a wtedy zamiast leczyć, szkodzi. Musimy więc pamiętać, że podobnie jak wszystkie inne ciecze, ona też bywa dwulicowa. Nie warto więc pytać, czy danej cieczy można ufać, czy trzeba się jej strzec – czy jest dobra czy zła, zdrowa czy trująca, smaczna czy ohydna. Warto się raczej zastanowić, czy rozumiemy ją na tyle dobrze, by ją okiełznać.

Nie ma lepszej metody na zilustrowanie poczucia mocy i radości, jaką dają nam ujarzmione ciecze, niż opowiedzenie o płynach biorą-

cych udział w locie samolotu. O tym właśnie jest ta książka: opisuję w niej wszystkie dziwne, cudowne ciecze, które uczestniczą w locie transatlantyckim. Miałem okazję odbyć taką podróż, ponieważ nie wysadziłem się w powietrze podczas robienia doktoratu – nadal badałem materiały, aż w końcu zostałem dyrektorem Institute of Making przy londyńskim University College. Prowadzimy tam między innymi badania pozwalające zrozumieć, jak ciecze ukrywają się pod postacią ciał stałych. Na przykład asfalt, z którego robi się drogi, choć sprawia wrażenie twardego materiału, jest cieczą, podobnie jak masło orzechowe. Dzięki naszym badaniom jesteśmy zapraszani na konferencje na całym świecie. Ta książka przedstawia podróż na jedną z nich – z Londynu do San Francisco.

Lot opisuję językiem cząsteczek, uderzeń serca i fal oceanu. Zamierzam odsłonić tajemnicze właściwości cieczy, na których polegamy. Przelecimy nad islandzkimi wulkanami, mroźnymi przestworami Grenlandii i cętkami jezior wokół Zatoki Hudsona, by skręcić na południe i podążać wzdłuż amerykańskiego wybrzeża Pacyfiku. To przestrzeń na tyle wielka, byśmy przyglądając się jej, mogli omówić ciecze w różnych skalach: od głębin oceanów po zawarte w chmurach kropelki. Zbadamy też intrygujące ciekłe kryształy ukryte w ekranach pokładowego systemu rozrywki, napoje serwowane przez personel oraz oczywiście paliwo lotnicze, dzięki któremu samolot utrzymuje się w stratosferze.

Każdy rozdział poświęcam innej fazie lotu i omawiam właściwości biorących w niej udział cieczy, zdolnych między innymi do wybuchowego samospalania, rozpuszczania w sobie innych substancji lub zaparzania ziół. Pokazuję, w jaki sposób różne osobliwe cechy płynów, takie jak zdolność do nawilżania i formowania kropel, lepkość, roz-

puszczalność, ciśnienie czy napięcie powierzchniowe, umożliwiają nam dalekie podróże. Przy okazji opowiem, jak to możliwe, że ciecz płynie w górę pnia drzewa, lecz pod górę stromego zbocza już nie, dlaczego olej jest lepki, czemu fale mają tak wielki zasięg, dlaczego przedmioty schną, czy to możliwe, by płyn był jednocześnie kryształem, jak się nie zatruć, pędząc bimber, i – co bodaj najważniejsze – jak zaparzyć doskonałą filiżankę herbaty. Proszę, polećcie razem ze mną – obiecuję niezwykłą, magiczną podróż.

Wybuchowa

Gdy tylko zatrzaśnięto drzwi i samolot zaczął kołować na pas lotniska Heathrow, głos z interkomu zapowiedział rozpoczęcie instruktażu bezpieczeństwa.

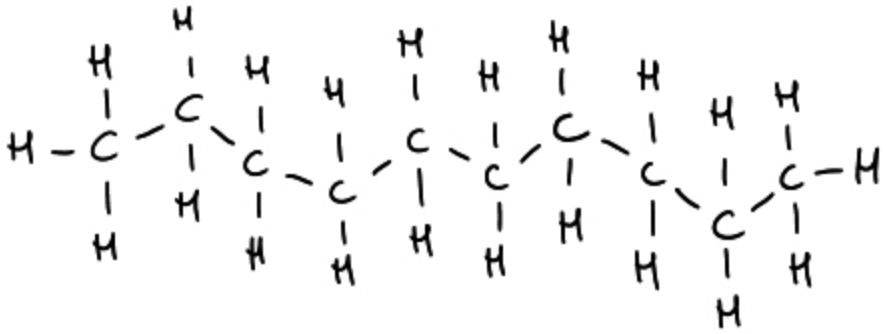
„Szanowni państwo! Dzień dobry, witam na pokładzie samolotu British Airways, lot do San Francisco. Prosimy o uwagę: chcielibyśmy przed odlotem zapoznać państwa z systemami bezpieczeństwa, które zaprezentuje nasz personel pokładowy".

Zawsze uważałem tę prezentację za dość niepokojący sposób rozpoczynania podróży. Myślę zresztą, że to ściema. Tak naprawdę w instruktażu bezpieczeństwa wcale nie chodzi o bezpieczeństwo. Po pierwsze, nikt nie wspomina o dziesiątkach tysięcy litrów paliwa lotniczego w samolocie. Ogromna ilość energii zawartej w tej ognistej cieczy umożliwia działanie silników odrzutowych, zdolnych rozpędzić stojący na pasie dwustupięćdziesięciotonowy samolot z 400 osobami na pokładzie do 800 kilometrów na godzinę i w ciągu kilku minut wynieść go na wysokość 12 kilometrów. Niesamowita moc tego płynu pozwala realizować najbardziej fantastyczne marzenia. Dzięki niej możemy szybować nad chmurami i dotrzeć w każdy zakątek planety w ciągu paru godzin. Umożliwiła wysłanie w kosmos pierwszego kosmonauty, Jurija Gagarina, a dziś napędza najnowszą generację rakiet SpaceX, które wynoszą satelity na orbitę. Ta ciecz zwana jest naftą.

Nafta, czyli kerozyna, to przezroczysty, bezbarwny płyn do złudzenia przypominający wodę. Skąd więc bierze się ukryta w niej moc?

Dlaczego po zmagazynowaniu tak wielkiej ilości energii nie wygląda na przykład bardziej oleiście czy niebezpiecznie? I czemu nikt o niej nie wspomina podczas instruktażu bezpieczeństwa?

Jeśli przyjrzymy się nafcie w skali atomowej, zobaczymy, że przypomina spaghetti. Szkielet jej struktury stanowią powiązane z sobą atomy węgla. Każdy z nich łączy się ponadto z dwoma atomami wodoru, z wyjątkiem skrajnych atomów węgla, które wiążą się z trzema takimi atomami. Wiedząc to, można już łatwo odróżnić naftę od wody. Woda nie ma struktury spaghetti, przypomina raczej bezładne skupisko małych molekuł w kształcie litery V (jeden atom tlenu i dwa wodoru, czyli H_2O). W skali atomowej nafta jest dość podobna do oliwy z oliwek, również złożonej z łańcuchów opartych na węglu, lecz nie tyle ułożonych w podłużne pasma, ile przemieszanych i poskręcanych.



Struktura cząsteczki węglowodoru w nafcie

Ponieważ cząsteczki oliwy mają bardziej skomplikowany kształt niż cząsteczki nafty, trudniej jest im się przesuwać obok siebie, co ogra-

nicza ich przepływ. Innymi słowy, oliwa jest bardziej lepka niż nafta. Obie te ciecze są olejami i na poziomie atomowym wyglądają dość podobnie, jednak z powodu odmiennej budowy ta pierwsza jest lepka, a druga wodnista. Te strukturalne różnice decydują jednak nie tylko o lepkości cieczy, lecz także o jej palności.

Perski fizyk i alchemik Rhazes w pochodzącej z IX wieku *Księdze tajemnic* opisał okoliczności dokonanego przezeń odkrycia nafty. Zaciekawiły go występujące w okolicy jego domu źródełka, z których płynęła nie woda, lecz gęsta, czarna, pachnąca siarką ciecz. W tamtych czasach ową smolistą substancję zbierano i rozprowadzano na drogach w charakterze pradawnej odmiany asfaltu. Rhazes opracował specjalne procedury chemiczne, które dziś nazywamy destylacją, aby badać ten czarny olej. Podgrzewał go i gromadził ulatniające się gazy, a następnie je schładzał – wówczas na powrót przybierały płynną formę. Pierwsza uzyskana ciecz była żółta i oleista, lecz po wielu kolejnych cyklach destylacji stawała się klarowna, przezroczysta i wodnista. Tak Rhazes odkrył naftę.

Nie podejrzewał nawet, jak bardzo ten płyn zmieni oblicze przyszłego świata, wiedział jednak, że jest on łatwopalny i nie wytwarza dymu. Dziś może się to wydawać błahostką, lecz kiedyś dym z paliw oświetlających wnętrza lamp był poważnym problemem, z którym borykała się każda cywilizacja. Lampy na olej były najbardziej wyszukanym wynalazkiem techniki oświetleniowej tamtej doby, lecz często dawały niemal równie wiele sadzy co światła. Bezdymne lampy olejne byłyby rewolucyjną innowacją, której waga objawia się nam w historii Aladyna z *Księgi tysiąca i jednej nocy*. Aladyn znajduje magiczną lampę, z której, po jej potarciu, uwalnia potężnego dżina. Dżiny tłumnie zaludniają mity tamtej epoki – uważano, że są to nadprzyro-

dzone istoty powstałe z bezdymnego ognia. Dżin z lampy miał spełniać życzenia jej właściciela – co za moc! Wielkie znaczenie nowej cieczy i możliwość tworzenia bezdymnego ognia nie uszły uwagi alchemika Rhazesa. Dlaczego więc Persowie nie zaczęli używać tego nowego wynalazku? Odpowiedź kryje się częściowo w roli, jaką w ich kulturze i gospodarce odgrywały drzewa oliwne.

W IX wieku oliwa była z wyboru paliwem do zasilania perskich lamp. W regionie powszechnie występowały drzewa oliwne – rośliny odporne na suszę i owocujące oliwkami, z których tłoczy się oliwę. By uzyskać jedną jej łyżeczkę, która typową lampę zasila przez godzinę, potrzeba około dwudziestu owoców. Jeśli więc każdego wieczora mieszkańcy przeciętnego domostwa oświetlali dom przez pięć godzin, zużywali 100 oliwek dziennie, czyli około 36 tysięcy rocznie, do tylko jednej lampy. By wytworzyć oliwę do oświetlenia całego imperium, Persowie musieli dysponować ogromnymi obszarami uprawnymi oraz czasem, ponieważ drzewo oliwne zwykle daje pierwsze owoce po dwudziestu latach od zasadzenia. Musieli także strzec swoich ziem przed wszystkimi, którzy zechcieliby odebrać im tak cenne dobra, a zatem potrzebowali świetnie zorganizowanych miast, te z kolei konsumowały jeszcze więcej oliwy, zarówno w celach spożywczych, jak i w postaci paliwa. Aby utrzymać armię, płacili podatki, które w Persji często pobierano w postaci procentu od zbiorów oliwek. Wynika z tego, że oliwa była istotnym elementem perskiego społeczeństwa i kultury. Podobnie wyglądało to we wszystkich cywilizacjach Bliskiego i Środkowego Wschodu aż do czasu wynalezienia alternatywnych źródeł energii i sposobów opodatkowania. Eksperymenty Rhazesa wykazały, że ludzie mogą czerpać tę energię spod ziemi, po której stąpają, lecz nim zaczęto z niej korzystać, musiało upłynąć jeszcze tysiąc lat.

Replika starożytnej lampy olejnej używanej w epoce Rhazesa

Lampy olejne ewoluowały. Budowa tych wykorzystywanych w IX wieku wydaje się prosta, w rzeczywistości jest jednak bardzo wyrafinowana. Wyobraźcie sobie miskę pełną oliwy. Jeżeli spróbujecie po prostu ją podpalić, okaże się to niezwykle trudne, oliwa ma bowiem bardzo wysoką temperaturę zapłonu – zaczyna spontanicznie reagować z zawartym w powietrzu tlenem i płonąć dopiero przy 315°C. To dlatego można jej bezpiecznie używać w kuchni – jeśli przypadkiem ją rozchlapiemy, na pewno się nie zapali. Co więcej, aby usmażyć na niej większość potraw, wystarczy ją rozgrzać do 200°C, a więc ponad 100 stopni poniżej temperatury zapłonu. Można przygotowywać jedzenie bez ryzyka zaprószenia ognia.

Jednak po podgrzaniu do 315°C oliwa buchnie płomieniem, wy-

twarzając dużo światła. Jest to bardzo niebezpieczne, a ponadto taki ogień bardzo szybko zużyje całe paliwo. Na pewno sądzicie, że przecież muszą istnieć jakieś lepsze sposoby spalania oliwy, by uzyskać światło. Macie rację. Wystarczy zanurzyć kawałek sznurka w oliwie i podpalić jego wystającą końcówkę. Powstaje wówczas jasny płomień i nie trzeba od razu podpalać całej zawartości naczynia. To nie knot generuje ogień, lecz oliwa, którą jest nasączony. Genialny wynalazek, ale to jeszcze nie koniec. Ogień nie rozprzestrzenia się w dół – paliwo wędruje w górę knota i płonie tylko jego końcówka. W takim systemie można podtrzymywać płomień przez wiele godzin. Zachodzi tu zjawisko włoskowatości, zwane też kapilarnym, którego efekty są wprost niezwykłe: wydaje się, że olej neguje siłę ciążenia. Fenomen ten jest związany z właściwościami cieczy, a wywołuje go tak zwane napięcie powierzchniowe.

Zdolność przepływu ciecze zawdzięczają swojej strukturze, będącej stanem przejściowym między chaosem gazu a stanem stałym, w którym atomy są uwięzione w sieci krystalicznej. Cząsteczki w gazach mają dość energii kinetycznej, by odrywać się i poruszać niezależnie od siebie. To sprawia, że gazy są dynamiczne – rozszerzają się, wypełniając całą dostępną przestrzeń – lecz nie mają prawie żadnej struktury. W ciałach stałych przyciąganie między atomami i cząsteczkami jest znacznie silniejsze niż ich energia kinetyczna, dzięki czemu pozostają trwale związane. Obiekty takie mają więc trwałą strukturę i niezmienialny kształt – kiedy podniesiesz miskę, wszystkie składające się na nią atomy wędrują w górę wspólnie, jako jeden przedmiot. Ciecze są czymś pomiędzy. Ich atomy mają dość energii kinetycznej, by oderwać się od niektórych sąsiadów, lecz nie na tyle dużo, by się całkowicie rozproszyć jak gaz. Trzymają się więc razem jako ciecz –

forma materii, w której cząsteczki pływają wokół siebie, zbliżając i oddalając od siebie.

Molekuły przy powierzchni cieczy przebywają w innym środowisku niż te w głębi. Nie są całkowicie otoczone przez cząsteczki cieczy, więc na jej powierzchni występuje inny rozkład sił przyciągających i odpychających, wynikający z oddziaływania międzycząsteczkowego, niż w jej głębi. Zaburzenie równowagi sił między powierzchnią a wnętrzem cieczy prowadzi do powstania tak zwanego napięcia powierzchniowego. Jego moc jest niewielka, lecz w przypadku drobnych obiektów większa od oddziaływania grawitacji. To dlatego niektóre owady potrafią chodzić po powierzchni wody.

Przyjrzyjcie się uważnie ślizgającym się nartnikom, a zobaczycie, że ich nogi są wprost wypychane przez ciecz – siła powstająca między powierzchnią wody a odnóżami owada działa w przeciwnym kierunku niż grawitacja. Na powierzchni styku cieczy i ciała stałego wskutek oddziaływań międzycząsteczkowych możemy jednak zaobserwować także pojawienie się sił przyciągających. Tak się dzieje w kontakcie wody ze szkłem. Napełnijcie szklankę wodą, a zobaczycie, że jej powierzchnia jest wypychana ku górze w miejscu styku ze ścianką naczynia. To tak zwany menisk, który także powstaje w wyniku oddziaływania siły napięcia powierzchniowego.

Nartnik ślizgający się po wodzie

Podobną sztuczkę opanowały rośliny. Wbrew sile ciążenia zasysają wodę z ziemi do własnego wnętrza za pomocą układu malutkich rurek biegnących w korzeniach, łodygach i liściach. Im mniejsza rurka, tym większy stosunek jej wewnętrznej powierzchni do objętości płynu i jednocześnie wyraźniejszy efekt zasysania wody. Dlatego producenci akcesoriów domowych do mycia okien polecają szmatki z „mikrofibry", które zaciągają wodę przez mikroskopijne kanały podobne do tych występujących w roślinach, dzięki czemu skuteczniej czyszczą. Na podobnej zasadzie ręcznik kuchenny pochłania rozlane ciecze. Wszystkie te przykłady ilustrują działanie zjawiska włoskowatości, a więc tego samego napięcia powierzchniowego, które sprawia, że olej płynie w górę sznurka czy, ściślej rzecz biorąc, knota.

Gdyby zjawisko to nie istniało, świece nie mogłyby się palić. Pod-

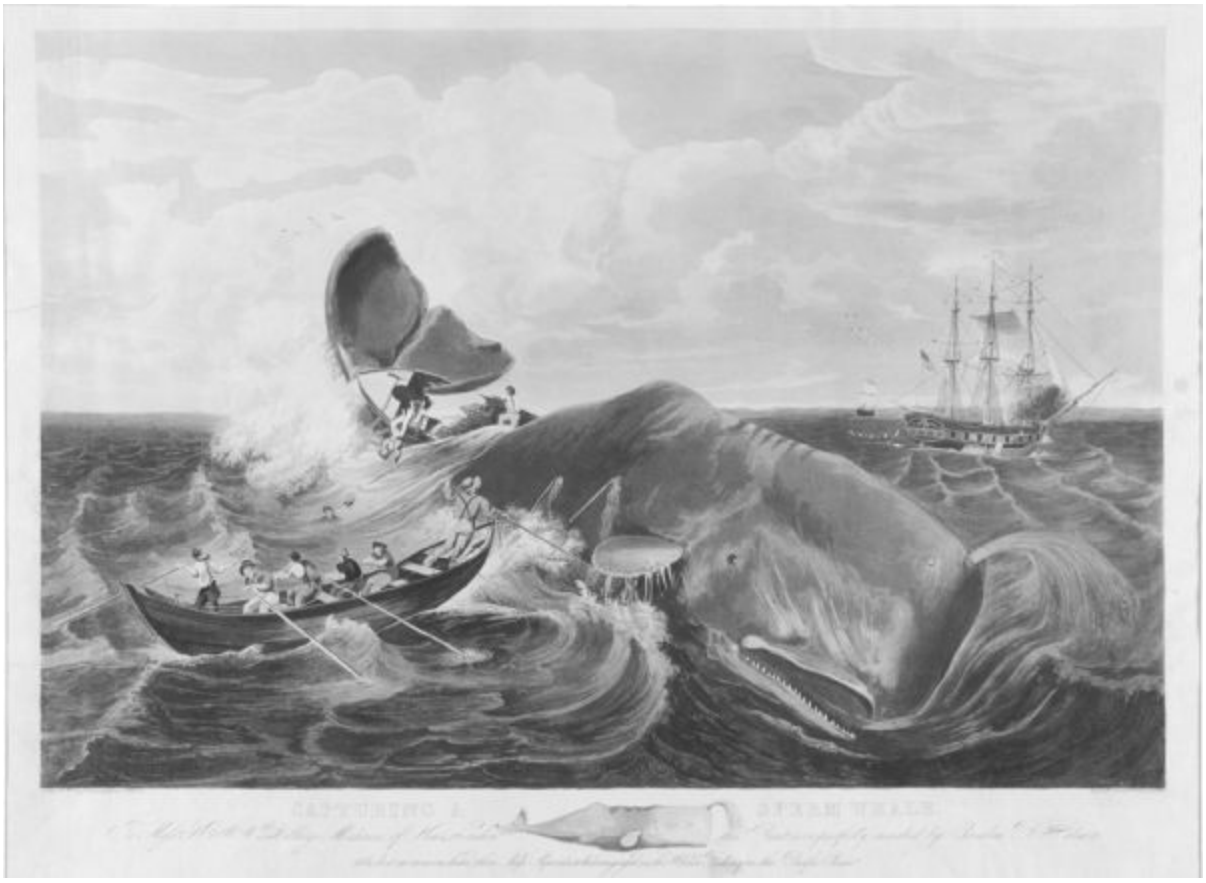
palając knot świecy, tworzymy małą kałużę roztopionego wosku. Ciecz ta płynie mikrokanalikami w górę knota ku płomieniowi, który dzięki temu nieustannie otrzymuje świeże porcje płynnego oleju do spalenia. Knot trzeba osadzić w odpowiednim materiale, takim jak wosk, by płomień zyskał odpowiednią temperaturę i nieustannie roztapiał zasilające go paliwo. Ten zaskakująco skomplikowany system sam się reguluje i wymaga od nas tak niewiele pracy, że przestaliśmy w nim widzieć wytwór techniki – choć tym właśnie jest.

Przez tysiące lat na całym świecie oświetlano wnętrza głównie dzięki wykorzystaniu zjawiska kapilarnego – czy to występującego w świecach, czy lampach oliwnych. Bez tych dwóch wynalazków nocą spowijałby nas mrok. Jak można się spodziewać, lampki oliwne stosowano tam, gdzie był powszechny dostęp do oleju, natomiast świece – w miejscach łatwej dostępności wosku lub tłuszczu zwierzęcego. Świece i lampy olejne, będące genialnymi wynalazkami, nie są jednak wolne od wad – przede wszystkim stanowią zagrożenie pożarowe, ale też wytwarzają sadzę, wydzielają zapach, nie dają dużo światła, ich użytkowanie jest zaś kosztowne. Te niedociągnięcia sprawiały, że wynalazcy zawsze poszukiwali lepszych, tańszych i bezpieczniejszych metod oświetlania wnętrz. Odkrycie nafty przez Rhazesa w IX wieku mogłoby się stać sporym krokiem naprzód w tej dziedzinie, gdyby przebiło się do powszechnej świadomości.

Na pokładzie samolotu trwał instruktaż bezpieczeństwa, a personel pokładowy wciąż konsekwentnie lekceważył rolę kerozyny. Póki co, nawet nie wspomniano o paliwie wtryskiwanym pod skrzydłami do silników odrzutowych, dzięki którym wehikuł toczył się na pas startowy. Opowiadano za to, co zrobić w razie „spadku ciśnienia w kabinie”. Jako Anglik od razu doceniłem siłę eufemizmu tego sformuło-

wania. Brzmi ono tak, że można by uznać spadek ciśnienia za drobną usterkę, w rzeczywistości jednak pęknięcie lub przedziurawienie kadłuba na wysokości przelotowej oznaczałoby wyssanie z kabiny całego powietrza wraz z każdym nieprzypiętym pasami pasażerem. Ponieważ zabrakłoby tlenu do oddychania, z sufitu wypadłyby maski tlenowe. Samolot natychmiast zacząłby szybkie zejście na niższą wysokość, gdzie tlenu jest więcej, a wówczas wszyscy pozostali przy życiu pasażerowie byliby bezpieczni.

Brak tlenu stanowił problem także dla wytwórców starodawnych lamp oliwnych. Były one tak skonstruowane, że gorejące w nich paliwo nie mogło się całkowicie spalić, ponieważ nie docierało do niego dość tlenu. To dlatego dawały stosunkowo mało światła. Kłopot ten rozwiązano dopiero pod koniec XVIII wieku, kiedy Ami Argand, szwajcarski naukowiec, wynalazł nowy rodzaj lampy olejnej z rurkowatym knotem i szklaną tubą osłaniającą płomień. Zaprojektował ją tak, by powietrze mogło przechodzić przez środek płomienia, co znacznie zwiększyło ilość spalanego w nim tlenu, a tym samym wydajność i jasność lamp olejnych, które odtąd dawały światło sześciu lub siedmiu świec. Ta innowacja otworzyła drogę do wielu kolejnych. W końcu stało się jasne, że oliwa czy inne oleje roślinne nie są paliwem doskonałym. Aby uzyskać więcej światła, potrzeba wyższej temperatury, która powstaje dopiero wówczas, gdy ciecz odpowiednio szybko płynie w górę przez kapilary. Prędkość zachodzenia zjawiska włoskowatości zależy zaś nie tylko od napięcia powierzchniowego, ale i lepkości płynu. Poszukiwanie olejów, które będą się cechować niską ceną i lepkością, doprowadziło do wielu eksperymentów oraz, niestety, śmierci mnóstwa kaszalotów.



Polowanie na kaszalota, John William Hill (1835)

Olej z wieloryba pozyskuje się, gotując paski jego sadła. Jest to ciecz klarowna, o barwie miodu. Nie nadaje się raczej do gotowania czy jedzenia, ponieważ ma wyrazisty rybny zapach, ale przy temperaturze zapłonu wynoszącej 230°C i niskiej lepkości świetnie się sprawdza w lampach olejnych.

U schyłku XVIII wieku, zwłaszcza w Europie i Ameryce Północnej, zaczęto na masową skalę wykorzystywać olej wielorybi w lampach Arganda. W latach 1770–1775, by zaspokoić popyt, wielorybnicy z Massachusetts produkowali 45 tysięcy baryłek, czyli około 7,2 miliona litrów tego oleju rocznie. Polowanie na wieloryby, napędzane koniecznością oświetlania wnętrz, stało się ogromną gałęzią przemysłu i

niemal doprowadziło do wyginięcia niektórych ich gatunków. Szacuje się, że do początku XIX wieku zabito ponad ćwierć miliona tych ssaków, by pozyskać z nich olej.

Taka sytuacja nie mogła trwać wiecznie, tymczasem zapotrzebowanie na paliwo do lamp wciąż wzrastało. Populacje miast zwiększały się i bogaciły, coraz ważniejszą rolę odgrywało wykształcenie, upowszechniała się kultura czytania i zażywania rozrywki po zmroku – wszystko to zwiększało popyt na olej, a tym samym wywierało presję na wynalazców. Znalazł się wśród nich szkocki chemik James Young, który w 1848 roku odkrył metodę pozyskiwania z węgla cieczy o właściwościach czyniących z niej doskonałe paliwo do lamp. Young nazwał ją olejem parafinowym. Kanadyjski wynalazca Abraham Gesner dokonał tego samego odkrycia, lecz swój produkt nazwał naftą. Ich wynalazki mogły się nie upowszechnić, lecz traf chciał, że dokonali ich tuż przed wybuchem wojny secesyjnej w Ameryce. Statki wielorybnicze stały się celami okrętów, a inne oleje do lamp obłożono wysokimi podatkami – zaistniały więc warunki do powstania przemysłu naftowego. Tak naprawdę nie rozwinął się on jednak aż do momentu, gdy wynalazcy zrezygnowali z węgla, a zamiast niego zainteresowali się pewnym występującym w pobliżu kopalń olejem. Tę czarną, cuchnącą, lepką substancję wypompowywano spod ziemi, lecz przed użyciem trzeba ją było poddać destylacji – procesowi odkrytemu przed wiekami przez Rhazesa – co okazało się bardzo lukratywnym przedsięwzięciem. I tak dżin na dobre wydostał się z lampy.

Tymczasem na pokładzie mojego samolotu wciąż nikt się nawet nie zająknął na temat kerozyny. W ramach instruktażu opowiadano teraz o wyjściach ewakuacyjnych, a stojący przede mną steward rozłożył ramiona, by wskazać ich rozmieszczenie: dwa były za mną, dwa na

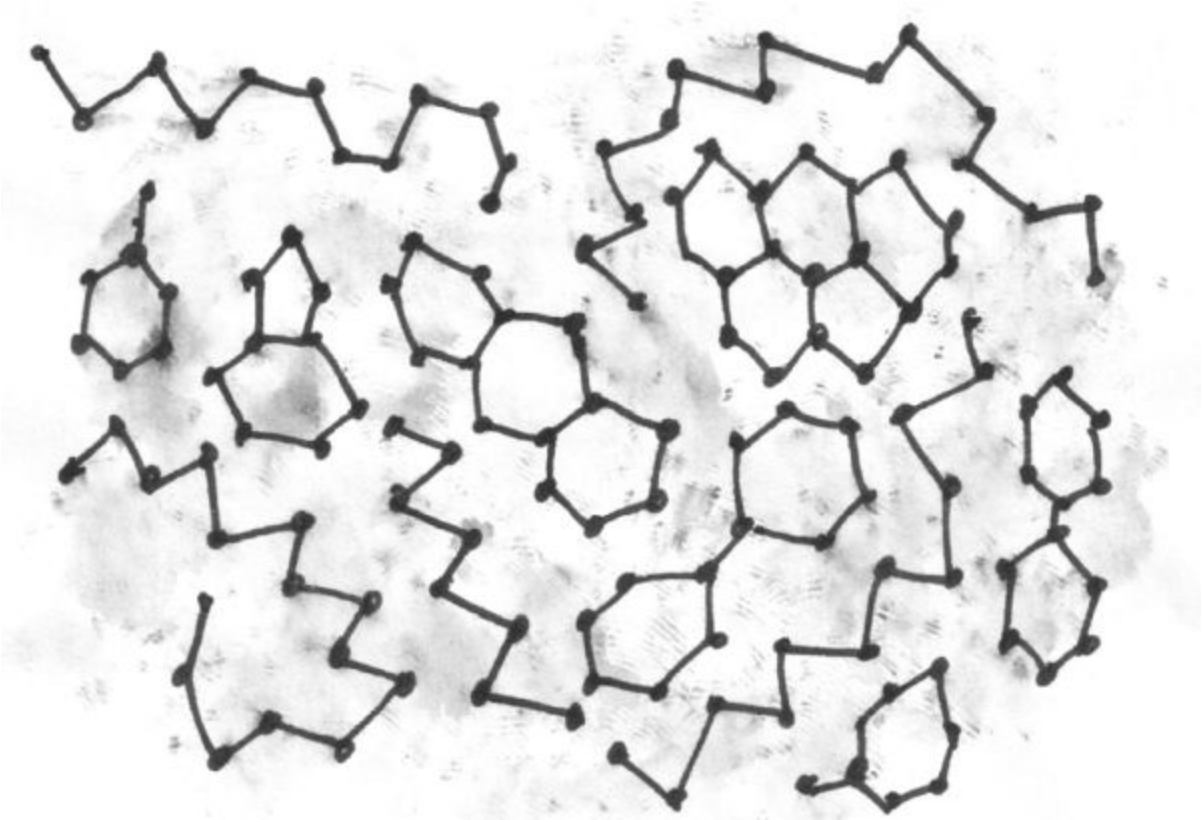
przedzie kabiny i dwa nad skrzydłami. Miałem ochotę dodać: „Dodatkowo pod podłogą mamy zbiornik z 50 tysiącami litrów nafty i kolejne 50 tysięcy litrów w każdym skrzydle". Chyba nawet wymamrotałem coś w tym stylu, ponieważ zwróciłem uwagę swojej współpasażerki, która, jak się później dowiedziałem, miała na imię Susan. Wtedy po raz pierwszy od wejścia na pokład oderwała wzrok od książki. Zerknęła na mnie znad czerwonych oprawek okularów, po czym wróciła do lektury. Patrzyła mi w oczy przez niecałą sekundę, lecz z jej spojrzenia mogłem wiele wyczytać. „Spokojnie – zdawało się mówić – latanie to najbezpieczniejsza forma dalekich podróży. Wie pan, że codziennie ponad milion ludzi przemierza stratosferę? Ryzyko, że coś się stanie, jest minimalne. Mikroskopijne. Niech pan siądzie wygodnie, odpręży się, poczyta książkę". Wiem, że to sporo informacji jak na tak krótkie spojrzenie, ale naprawdę właśnie to mi przekazała.

Rafineria naftowa. Wysokie kolumny to kolumny rektyfikacyjne

Mimo wszystko nie mogłem jednak przestać myśleć o ropie naftowej i niezwykłej sztuczce dziewiętnastowiecznych wynalazców, którzy ją przetwarzali: destylacji. Aby przedestylować ropę, Rhazes używał aparatu zwanego alembikiem. Współcześnie stosuje się w tym celu destylatory. Tę funkcję pełnią wieże, które można zobaczyć w rafineriach.

Ropa jest mieszaniną rozmaicie ustrukturyzowanych węglowodorów. Niektóre cząsteczki przypominają spaghetti, inne są małe i zwarte, jeszcze inne połączone w pierścienie. Ich szkielet stanowią atomy węgla, z których każdy związany jest z kolejnym oraz z dwoma atomami wodoru. Cząsteczki te występują jednak w wielu kształtach i rozmiarach – jedne mają tylko pięć atomów węgla, inne kilkaset. Ist-

nieje bardzo niewiele cząsteczek węglowodorowych o liczbie atomów węgla mniejszej niż cztery – molekuły tak małe mają przeważnie postać gazów, takich jak metan, etan i butan. Im dłuższa cząsteczka, tym wyższa temperatura wrzenia substancji, a zatem większe prawdopodobieństwo jej występowania w stanie ciekłym w temperaturze pokojowej. Tak jest w przypadku cząsteczek zbudowanych z nie więcej niż czterdziestu atomów węgla. Większe nie przepływają już obok siebie tak swobodnie – bywają raczej gęste jak smoła.



Mieszanina cząsteczek węglowodorów w ropie naftowej (zaznaczono tylko atomy węgla)

Podczas destylacji ropy jako pierwsze odparowywane są mniejsze cząsteczki. Molekuły węglowodorów o liczbie atomów węgla od pię-

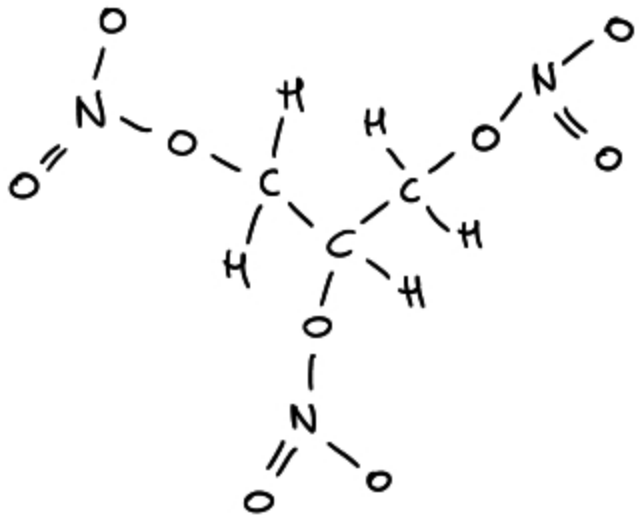
ciu do ośmiu przybierają postać ciekłej, wysoce łatwopalnej, przezroczystej cieczy. Jej temperatura zapłonu wynosi −45°C, a więc łatwo bucha ogniem nawet na mrozie. Tak łatwo, że jej wykorzystanie w charakterze paliwa do lampy byłoby niebezpieczne. Z tego powodu w pierwszych latach działania przemysłu naftowego pozbywano się jej jako odpadu produkcyjnego. Z czasem zaczęto lepiej rozumieć i doceniać zalety tego płynu, zwłaszcza gdy się okazało, że po zmieszaniu z powietrzem i zapaleniu wytwarza dość gazu, by poruszyć tłok. Ostatecznie tę ciecz, którą dziś stosujemy w silnikach benzynowych, nazwano benzyną.

Większe molekuły, złożone z dziewięciu do dwudziestu jeden atomów węgla, tworzą przejrzysty płyn o wyższej temperaturze wrzenia niż benzyna. Ulatnia się wolniej, toteż trudniej go zapalić. Ponieważ jednak każda jego cząsteczka jest dość spora, to w momencie reakcji z tlenem wydziela dużo energii pod postacią gorącego gazu. Nie zapali się, jeśli nie zostanie rozproszony do formy mgiełki. Zanim buchnie płomieniem, można go znacznie sprężyć. Zjawisko to w 1897 roku odkrył Rudolf Diesel, którego imieniem nazwano maszynę spalającą ten niezwykły olej napędowy, powszechnie zwany ropą – to najchętniej stosowany silnik XX wieku.

W połowie XIX wieku, u zarania przemysłu naftowego, silniki Diesla jednak jeszcze nie istniały, trwały natomiast usilne poszukiwania łatwopalnej substancji do zasilania lamp olejnych. W ich trakcie producenci stworzyli płyn o cząsteczkach zawierających od sześciu do szesnastu atomów węgla, co plasuje go gdzieś między benzyną a olejem napędowym. Ma zalety tego drugiego – nie ulatnia się na tyle szybko, by zamienić się w mieszankę wybuchową – lecz zarazem cechuje się lepkością niewiele wyższą niż woda. W rezultacie bardzo

szybko przepływa w kapilarach i pali się jasnym płomieniem. Jest tani i wydajny, a by go pozyskać, nie trzeba zabijać wielorybów ani zbierać oliwek. Nazwano go naftą lub kerozyną i okazał się doskonałym paliwem do lamp.

Ale czy jest bezpieczny? Próbując zastosować się do rad Susan, aby się odprężyć, utonąłem w rozmyślaniach, lecz głos stewarda znów przywrócił mnie do rzeczywistości. W instruktażu bezpieczeństwa dotarł on do tematu kamizelek ratunkowych. Prowadzący prezentację członkowie personelu mieli je teraz na sobie i każdy z nich udawał, że dmucha w gwizdek. Zastanawiałem się, jak by to było przetrwać katastrofę samolotu i unosząc się w wodzie – być może nocą – próbować zagwizdać. No i co w razie takiego wypadku stałoby się ze zgromadzoną w zbiornikach naftą. Czy mogłaby wybuchnąć?



Budowa cząsteczki nitrogliceryny

Znam jedną ciecz, która na pewno by eksplodowała: to nitrogliceryna. Podobnie jak nafta, jest ona bezbarwnym, przejrzystym, oleistym płynem. Po raz pierwszy zsyntetyzował ją Ascanio Sobrero w 1847 roku. Nie zginął podczas eksperymentów, co zakrawa na cud, ponieważ stworzył absurdalnie wręcz niebezpieczny, niestabilny związek, zdolny nieoczekiwanie wybuchnąć. Ascanio tak bardzo obawiał się skutków jego stosowania, że przez rok milczał o swoim odkryciu, a nawet później odradzał innym jego wytwarzanie. Uczeń Sobrero, Alfred Nobel, dostrzegł jednak w tej cieczy potencjał – uznał, że może ona zastąpić proch strzelniczy. Udało mu się nadać jej stosunkowo bezpieczną postać ciała stałego, które nie wybucha przypadkowo (aczkolwiek podczas prac zginął jego brat Emil), i w ten sposób stworzył dynamit. Nobel całkowicie odmienił oblicze przemysłu wydobywczego, dzięki czemu dorobił się fortuny. Wcześniej przedsiębiorstwa wydobywcze drążyły tunele i jamy, korzystając z pracy ludzkich rąk. Część zarobionych pieniędzy wynalazca przeznaczył na ufundowanie najsłynniejszego wyróżnienia na świecie – Nagrody Nobla.

Nitrogliceryna, tak jak benzyna, olej napędowy i nafta, składa się z atomów węgla i wodoru. Dodatkowo zawiera też tlen i azot. Obecność atomów tych pierwiastków oraz ich rozmieszczenie w cząsteczce czynią z nitrogliceryny związek niestabilny. Jeśli jego molekuła zostanie poddana ciśnieniu wskutek zgniecenia lub pod wpływem wibracji, może się łatwo rozpaść. Atomy azotu łączą się z sobą, przechodząc w postać gazową, a atomy tlenu po połączeniu z węglem zamieniają się w dwutlenek węgla. Reagują także z wodorem – powstaje wówczas para. Po reakcji pozostaje jeszcze tylko trochę atomów tlenu w stanie

gazowym. Rozpadając się, cząsteczka wytwarza w nitroglicerynie falę uderzeniową, pod której wpływem sąsiednie cząsteczki także się rozpadają, zwiększając ilość gazu i moc fali. Ostatecznie wszystkie cząsteczki ulegają rozpadowi w wyniku reakcji łańcuchowej zachodzącej z trzydziestokrotnością prędkości dźwięku i ciecz niemal natychmiast przeobraża się w gaz, który zyskuje prawie tysiąckrotnie większą objętość, toteż szybko się rozprzestrzenia. Towarzyszy temu ogromna, gorąca eksplozja. Znaczna część zniszczeń drugiej wojny światowej została spowodowana przez szerokie stosowanie materiałów wybuchowych bazujących na nitroglicerynie.

Ograniczenie maksymalnej ilości płynów, które można wnieść na pokład, do 100 mililitrów ma zapobiec przemyceniu porcji nitrogliceryny na tyle dużej, by można było za jej pomocą zniszczyć samolot. Oczywiście nawet odrobina tej cieczy zachowuje właściwości wybuchowe, ale nie wytworzy dość energii do uszkodzenia kadłuba. Warto jednak wiedzieć, że nafta zawiera dziesięć razy więcej energii w jednostce objętości niż nitrogliceryna, a w zbiornikach paliwowych samolotu znajdują się jej dziesiątki tysięcy litrów.

Nafta nie jest jednak dość wybuchowa – nie eksploduje spontanicznie. W przeciwieństwie do nitrogliceryny, w jej budowie cząsteczkowej brakuje atomów tlenu i azotu. Pozostaje stabilna i nie ulega łatwemu rozpadowi: można nią potrząsać i uderzać w jej powierzchnię, a i tak nie wybuchnie. Jeśli chcemy ujarzmić jej moc, wówczas – w przeciwieństwie do jej słabszej kuzynki, nitrogliceryny – musimy się napracować. Po doprowadzeniu do reakcji nafty z tlenem powstaje dwutlenek węgla i para wodna, a ponieważ szybkość całego procesu zależy od dostępu tlenu, spalanie można kontrolować.

Nafta, dzięki wielkiej ilości zawartej w niej i możliwej do ujarzmie-

nia energii, stała się niesłychanie ważną cieczą w technice. Na całym świecie spala się jej około miliarda litrów dziennie. Konsumują ją głównie silniki odrzutowe i rakietowe, lecz w wielu krajach wciąż jest używana do oświetlania. Na przykład w Indiach stosuje się ją jako paliwo do lamp w domostwach ponad 300 milionów ludzi.

Choć wydaje nam się, że panujemy nad naftą, ma ona również mroczną stronę. Jako przykład wystarczy przywołać straszne wydarzenia z 11 września 2001 roku. Tego dnia siedziałem w domu i z niedowierzaniem wpatrywałem się w telewizor. Nie pamiętam już, czy oglądałem na żywo moment uderzenia drugiego samolotu w wieżę WTC, czy zobaczyłem to dopiero podczas retransmisji, lecz wydarzenia te kompletnie mnie zszokowały. Tkwiłem przed odbiornikiem, nie rozumiejąc, co się dzieje. Płonęły dwa budynki i napływały doniesienia o tym, że nie były to jedyne cele, w które uderzyły samoloty. Gdy myśleliśmy, że już nie może być gorzej, pierwszy wieżowiec runął. Zdawało się, że upada w zwolnionym tempie, tak jak się to dzieje, gdy wali się ogromna konstrukcja. Potem runęła druga wieża. Tym razem byliśmy już gotowi na ten widok, lecz i tak był on szokujący.

Do zawalenia się WTC doprowadził zapłon paliwa lotniczego. Nie była to jednak eksplozja, ponieważ paliwo takie jest stabilne. Według raportu FBI nafta reagowała z tlenem dostarczanym przez wiejący uszkodzonymi korytarzami wiatr, co rozgrzało elementy konstrukcyjne do 800°C. Stal, z której wykonany był szkielet gmachu, topnieje co prawda w temperaturze przekraczającej 1500°C, lecz w tych warunkach jej wytrzymałość spadła mniej więcej o połowę i materiał zaczął się odkształcać. Kiedy szkielet jednego piętra uległ deformacji, wyższe piętra się na niego zawaliły i całość runęła niczym domek z kart. W bliźniaczych wieżach WTC zginęło ponad 2700 osób, w tym 343

nowojorskich strażaków. Ataki terrorystyczne z 11 września stanowiły ważny moment w historii świata nie tylko dlatego, że dały początek kolejnym wojnom i związanym z nimi potwornościom, lecz również dlatego, że upadek wieżowców wyraźnie symbolizował kruchość demokratycznej cywilizacji. A w tych pełnych grozy chwilach ważną rolę odegrała nafta.

Rozumiecie teraz, dlaczego uważam, że warto coś o niej powiedzieć w instruktażu bezpieczeństwa. Tymczasem personel naszego samolotu, który właśnie skończył pokaz, ani słowem nie wspomniał o 150 tysiącach litrów nafty w zbiornikach ani o jej dwoistej naturze. Z jednej strony, jest ona zupełnie zwyczajnym, przezroczystym olejem, tak stabilnym, że w zbiorniku z paliwem można by gasić zapałki. Z drugiej – gdy dostarczyć jej odpowiednio dużo tlenu, może uwolnić dziesięć razy więcej energii niż wybuchowa nitrogliceryna. Moja sąsiadka Susan wydawała się tym nie przejmować i wciąż siedziała pochłonięta lekturą.

Choć w instruktażu bezpieczeństwa nie wymieniono nafty, odniosłem wrażenie, że pojawiła się między wierszami. Gdy się nad tym zastanowić, taki instruktaż jest naszym wspólnym międzynarodowym obrzędem, niezależnym od przynależności etnicznej, narodowości, płci czy religii – wszyscy musimy wziąć w nim udział, zanim nafta zapłonie, a samolot wzbije się w powietrze. Niebezpieczeństwa, na które instruktaż nas przygotowuje, takie jak choćby lądowanie na wodzie, zdarzają się na tyle rzadko, że nawet przez całe wypełnione podróżami życie pasażer raczej się z nimi nie zetknie. Nie taki jest więc cel prezentacji. Podobnie jak w przypadku wszystkich obrzędów, ten także prowadzony jest przy użyciu tajemnego języka oraz specjalnych rekwizytów. W obrzędach religijnych stosuje się świece, kadzidła czy

kielichy. W lotniczym obrzędzie bezpieczeństwa – maski tlenowe, kapoki i pasy. Komunikat, jaki ten obrzęd przekazuje, brzmi: „Czeka cię coś bardzo groźnego, lecz inżynierowie zadbali o twoje niemal stuprocentowe bezpieczeństwo". O owym „niemal" przypomina się za pomocą wspomnianych wcześniej rekwizytów. Obrzęd oddziela ponadto zwykłe życie, w którym sami dbamy o własne bezpieczeństwo, od czasu lotu, w którym nadzór nad nim cedujemy na zespół ludzi oraz systemów inżynierskich, zdolnych ujarzmić jedną z najpotężniejszych cieczy na Ziemi, dzięki której przemierzamy atmosferę, zmierzając do wybranego celu. Innymi słowy – należy im w pełni zaufać i powierzyć własne życie. Obrzęd odprawiany przed każdym lotem w rzeczywistości polega więc na rytualnym oddaniu się w ręce załogi.

Gdy personel ruszył przejściem między rzędami foteli, sprawdzając, czy pasażerowie mają prawidłowo zapięte pasy i czy bagaże zostały właściwie ułożone w lukach, wiedziałem, że ceremonia ma się ku końcowi i otrzymujemy ostateczne błogosławieństwo. Z nabożną miną skinąłem głową stewardowi. Samolot wjechał już na pas i rozpoczęły się procedury startowe – dzięki wiedzy gromadzonej przez tysiąc lat zaczęto przetwarzać ciekłą naftę w energię lotu.

Jeśli zdarzyło wam się kiedyś nadmuchać balon, a potem go puścić, by z furkotem szaleńczo wirował po pokoju, macie już pewne pojęcie o funkcjonowaniu silnika odrzutowego. Balon leci w stronę przeciwną do kierunku wyrzucania sprężonego powietrza, co jest zgodne z trzecim prawem dynamiki Newtona, głoszącym, że każdej akcji towarzyszy przeciwnie zwrócona reakcja. Jednak przechowywanie sprężonego gazu w ilości tak wielkiej, by napędzić samolot, byłoby bardzo niewydajne. Na szczęście brytyjski inżynier Frank Whittle

opracował metodę zaradzenia temu problemowi. Doszedł do wniosku, że skoro atmosfera sama składa się z gazu, nie ma sensu wieźć go z sobą – wystarczy go sprężyć podczas lotu i wyrzucić z tyłu pojazdu. Trzeba tylko zastosować odpowiednią sprężarkę. I taką właśnie maszynę widzicie pod skrzydłem podczas wchodzenia na pokład – wygląda jak ogromny wentylator i tym w gruncie rzeczy jest. Wewnątrz obudowy zamontowano jeszcze dziesięć lub więcej kolejnych wentylatorów, każdy mniejszy niż poprzedni. Ich rola polega na zasysaniu i sprężaniu powietrza, które następnie trafia do komory spalania w środku silnika, gdzie zostaje zmieszane z naftą i podpalone. Zamienia się wówczas w strumień gorącego gazu wystrzeliwujący z wylotu silnika. Geniusz tego rozwiązania polega na tym, że część energii przepływającego powietrza zostaje poświęcona na obracanie zespołu turbin, które z kolei napędzają sprężarkę umieszczoną na przedzie urządzenia. Maszyna wykorzystuje więc energię gorącego gazu do zebrania i sprężenia jeszcze większych ilości gazu podczas lotu.

Strumień gorących spalin pozwolił naszemu niemal dwustupięćdziesięciotonowemu samolotowi nabrać prędkości. Spoglądając przez okno rozpędzającego się wehikułu, trudno uwierzyć, że jedzie się naprawdę szybko. Skrzydła się kołyszą i niezdarnie dygoczą przy każdym wyboju na pasie startowym, a ich zachowanie nie ma nic wspólnego z inżynierską elegancją, z jaką później będą ciąć powietrze. Przy 130 kilometrach na godzinę intensywne stukoty i skrzypienia w kabinie robią się wręcz niepokojące. Gdybym nigdy wcześniej nie leciał samolotem, w tym momencie ogarnęłyby mnie wątpliwości, czy w ogóle uda nam się oderwać od ziemi.

A jednak uwięziona w nafcie energia nadawała nam coraz większą prędkość. Paliwo o większej mocy niż nitrogliceryna spalało się w

kontrolowany sposób w tempie czterech litrów na sekundę. Wreszcie dotarliśmy niemal do końca ponadtrzykilometrowego pasa, pędząc z prędkością 260 kilometrów na godzinę. Nastał prawdopodobnie najniebezpieczniejszy moment całej podróży. Nie mieliśmy przed sobą już zbyt wiele miejsca i gdybyśmy natychmiast nie wystartowali, z tysiącami litrów nafty w zbiornikach uderzylibyśmy w stojące za pasem startowym budynki. Jednak majestatycznie, niczym wzlatująca z jeziora gęś, dźwignęliśmy się w niebo, by w ciągu kilku sekund pozostawić daleko za sobą domy, samochody i ludzi. Tę chwilę lubię najbardziej z całego lotu, zwłaszcza gdy startuję z lotniska w spowitym niskimi chmurami Londynie. Zaraz po ich przebyciu, tak jak tamtego dnia, otwiera się widok na słoneczne niebo. Ogarnia mnie wtedy takie wrażenie, jakbym wkraczał do jakiegoś innego wymiaru. Nigdy mi się to nie znudzi.

Samolot jest w pewnym sensie współczesną magiczną lampą. Zamknięty w niej dżin to nafta, która potrafi spełnić życzenie o podróży w dowolne miejsce świata. Podróż ta nie odbywa się jednak na czarodziejskim dywanie. Dysponujemy czymś o wiele lepszym: kabiną chroniącą pasażera przed skrajnym zimnem i silnym wiatrem, w której można się odprężyć, a nawet zasnąć.

Dżin ten, jak wszystkie dżiny, bywa też jednak złowrogi. Pokochaliśmy siłę nafty, lecz latanie – czy w ogóle korzystanie z wytworów ropy naftowej – wywiera niszczycielski wpływ na globalny klimat. Za sprawą emisji dwutlenku węgla spowodowanej spalaniem olejów takich jak nafta temperatura powietrza szybko rośnie. Na całym świecie codziennie zużywamy 16 miliardów litrów oleju. To, czy okażemy się dość mądrzy, by jakoś zamknąć dżina z powrotem w butelce, należy do najważniejszych pytań XXI wieku.

Lecz, szczerze mówiąc, nie o tym rozmyślałem, lecąc nad chmurami. Delektowałem się podniebnym krajobrazem i czekałem na napój z wózka, który steward toczył ku mnie alejką.

Trująca

Wznosiliśmy się na wysokość przelotową – 12 kilometrów – a ja rozkoszowałem się podróżą. Patrzyłem przez okno na warstwę chmur poniżej, a promienie słońca zalewały kabinę. Zerknąłem w bok i napotkałem spojrzenie sąsiadki, która także wyglądała przez okno.

– Cudownie byłoby teraz wyskoczyć i zanurkować w te pękate, puchate, ciepłe obłoczki, prawda? – powiedziałem.

– Wcale nie są ciepłe – odparła.

– No tak, racja – przyznałem. – Przepraszam.

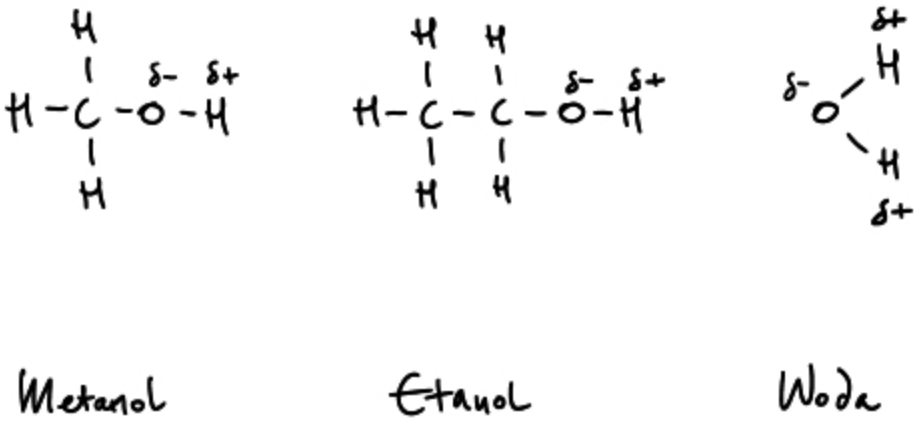
„Boże, ja naprawdę palnąłem coś takiego?" – pomyślałem. Może to przez wino? Czy już mi uderzyło do głowy? Popatrzyłem na etykietkę miniaturowej zielonej butelki, informującą, że płyn, który piję, pochodzi z Australii i został wyprodukowany z winogron szczepu chardonnay. Opisano go jako „bogaty w smaku, o waniliowo-maślanym finiszu". Upiłem łyczek, by się przekonać, czy zdołam wyczuć smak wanilii. Nie udało mi się. Wino było kwaskowate i miało jakby kwietny aromat. Raz jeszcze wczytałem się w etykietkę. 13 procent alkoholu.

Alkohole pod względem chemicznym przypominają naftę. One także się palą, o czym przekonaliście się, jeśli kiedykolwiek zamówiliście płonące lody. Do takich wyszukanych deserów najczęściej używa się brandy, ze względu na jej wysoką zawartość alkoholu – około 40 procent. To właśnie ona płonie błękitnym płomieniem na gałkach lodów.

Czysty alkohol dobrze się pali i jest wykorzystywany między innymi jako paliwo samochodowe. Największym producentem przezna-

czonego właśnie do tego celu alkoholu z trzciny cukrowej jest Brazylia. Uważa się, że kraj ten dysponuje jednym z najbardziej ekologicznych systemów produkcji biopaliwa na świecie: 94 procent tamtejszych samochodów osobowych jeździ na paliwie z domieszką alkoholu. Powstaje ono w wyniku przefermentowania soku z trzciny cukrowej, w taki sam sposób jak podczas wyrobu wina i piwa – drożdże konsumują cukier, a wydalają alkohol. Powstały płyn jest następnie poddawany rafinacji, by otrzymać czysty alkohol. W innych częściach świata biopaliwo nie jest równie popularne jak w Brazylii, po części dlatego, że paliwa kopalne są znacznie tańsze, a po części, ponieważ do wytworzenia ilości alkoholu zdolnej zasilać transport całego kraju potrzeba ogromnych obszarów rolnych. Z tego powodu większość wyprodukowanego z roślin uprawnych alkoholu przeznacza się do picia.

Alkohol stanowi najważniejszy składnik wielu popularnych na świecie napojów, takich jak wino, piwo i wódka, lecz jest toksyczny. To dlatego tak nas oszałamia. Zawarte w nim toksyny spowalniają aktywność układu nerwowego, powodując pogorszenie funkcji poznawczych i motorycznych oraz zmniejszenie samokontroli. To zdumiewające, że mimo tak silnego oddziaływania alkoholu na naszą fizjologię lekkie odurzenie wydaje się bardzo przyjemne. Ja pod jego wpływem się rozluźniam, mniej się zamartwiam, a więcej uśmiecham, gdy zaś dawka jest większa, zaczynam bardzo kiepsko tańczyć i nie sposób mnie przed tym powstrzymać. Nie ma to jak odurzający drink pod koniec długiego tygodnia pracy. „Wypij mnie – mówi butelka wina – a przez chwilę świat nie będzie taki sam”.



Porównanie budowy cząsteczek dwóch alkoholi: metanolu i etanolu. Ten pierwszy ma jeden atom węgla w cząsteczce, ten drugi – dwa. Obydwie cząsteczki są polarne z grupą hydroksylową -OH. Cząsteczka woda również ma budowę polarną, więc można w niej łatwo rozpuścić metanol i etanol

Alkohol to ogólna nazwa rodziny węglowodorów podobnych do benzyny i oleju napędowego, lecz z dodatkowymi atomami wodoru i tlenu, tworzącymi tak zwaną grupę hydroksylową. Cząsteczki różnych rodzajów alkoholi mają różną wielkość: ten, który pijemy – etanol – zawiera dwa atomy węgla. Składa się z cząsteczek polarnych, to znaczy takich, w których ładunek elektryczny jest nierównomiernie rozłożony i tworzy dwa bieguny, dodatni oraz ujemny. W przypadku alkoholu dzieje się tak za sprawą grupy hydroksylowej. Cząsteczki wody również mają taką grupę i też są polarne. Z powodu tego podo-

bieństwa etanol rozpuszcza się w wodzie. Liczba procentowa na etykiecie butelki mówi nam, ile go rozpuszczono. W przypadku chardonnay, które popijałem, było to 13 procent.

O ile jedna część molekuły alkoholu przypomina wodę, o tyle druga – jej węglowodorowy szkielet – jest pod względem struktury podobna do olejów i cząsteczek tłuszczu otaczających komórki w naszych ciałach. Za sprawą tego podobieństwa etanol potrafi przeniknąć bariery ochronne komórek i, ponieważ składa się z małych cząsteczek, trafić przez ścianki żołądka bezpośrednio do krwiobiegu. W ten sposób do krwi przedostaje się mniej więcej jedna piąta alkoholu spożytego podczas delektowania się winem i to dlatego jego działanie odczuwamy niemal natychmiast.

„To by tłumaczyło głupoty, które opowiadałem Susan" – pomyślałem, zerkając na sąsiadkę, by sprawdzić, czy się nie gniewa. Siedziała pogrążona w lekturze. Miała siwe, krótko ścięte włosy, nosiła czarny T-shirt i okulary w czerwonych oprawkach. Oceniałem ją na pięćdziesiąt kilka lat. Na jej podkoszulku zauważyłem kilka znacznie dłuższych włosów. Czy to włosy kochanka – zastanawiałem się – które przylgnęły do tkaniny podczas pożegnalnego uścisku? A może sierść psa?

Psy także mogą się upić – to dlatego istnieje wciąż rosnący rynek przeznaczonego na szczególne okazje wina bezalkoholowego dla zwierząt. Takie wino produkuje się również dla ludzi, choć, jak wynika z moich doświadczeń, trudno je nazwać winem. Próbując je, łatwo się jednak przekonać o roli, jaką w normalnym trunku odgrywa alkohol, równoważący słodkie i owocowe smaki moszczu winogronowego. To on nadaje mu bogaty, elegancki aromat, przekształcając sok w napój dla dorosłych – truciznę, fakt, lecz taką, którą się chętnie odurza-

my.

Już teraz byłem nieco oszołomiony, ale ponieważ od dawna nic nie jadłem, wkrótce miałem jeszcze mocniej odczuć wpływ alkoholu. Jedzenie spowalnia jego wchłanianie przez żołądek, a ponieważ ten był u mnie pusty, alkohol spłynął do jelita cienkiego, skąd trafił do krwiobiegu, a następnie do wątroby, do której zadań należy pozbywanie się toksyn. Jest ona zdolna metabolizować etanol z prędkością mniej więcej jednej lampki wina na godzinę (zależnie od masy ciała). Jeśli wypijecie więcej, etanol będzie napływał do krwiobiegu szybciej, niż wątroba jest w stanie go rozłożyć, a wówczas przedostanie się do innych organów i zacznie oddziaływać na resztę organizmu. Wpływ alkoholu na mózg bywa różny: zależy od ilości wypitego trunku, stanu emocjonalnego i procesów fizjologicznych. Ogólnie rzecz biorąc, alkohol spowalnia działanie układu nerwowego, zmniejsza zahamowania i zmienia nastrój.

Wpływa także na inne narządy. Czasowo osłabia mięśnie sercowe – kurczą się z mniejszą siłą, co obniża ciśnienie krwi. Kiedy krew napływa do płuc, by zaopatrzyć się w dostarczony z powietrzem tlen, część molekuł alkoholu wydostaje się na zewnątrz przez membrany płucne wraz z usuwanym z krwiobiegu dwutlenkiem węgla. W wydychanym powietrzu zawarty jest więc alkohol i to dlatego czuć go w oddechu osoby, która piła. Jego stężenie można zbadać alkomatem, który policja stosuje do sprawdzania trzeźwości kierowców.

O ile oddech pijącego nie jest zbyt przyjemny, o tyle z innej części etanolu – tej bardziej podobnej do oleju niż wody – wytworzyć można znacznie ładniej pachnącą ciecz: perfumy. Olejki eteryczne wydestylowane z roślin takich jak bergamotka czy pomarańcza, z żywic w rodzaju mirry lub z substancji pochodzenia zwierzęcego, na przykład

z piżma, można rozpuścić w alkoholu i zamienić w pachnidło. Po zwilżeniu nimi ciepłej skóry alkohol odparowuje, a olejek eteryczny z wolna się ulatnia, otaczając wyperfumowaną osobę wybraną wonią. Wszystkie perfumy, których pełne są sklepy bezcłowe na lotnisku, zawierają alkohol. Zdesperowany alkoholik mógłby je nawet pić – miałyby taki sam wpływ na organizm jak wódka. Trzeba jednak zachować ostrożność, bo niektóre tanie pachnidła zawierają metanol.

Jest to najmniejsza molekuła z grupy alkoholi – w jej skład wchodzi tylko jeden atom węgla, w przeciwieństwie do etanolu, który zawiera dwa takie atomy. Ta drobna różnica całkowicie zmienia działanie farmakologiczne metanolu: alkohol ten, zwany alkoholem metylowym, jest znacznie bardziej toksyczny niż etanol. Jedna pięćdziesiątka czystego metanolu może zabić lub wywołać trwałą ślepotę. Trzy są już absolutnie zabójcze. Dzieje się tak, ponieważ w układzie pokarmowym ciecz ta rozkłada się na kwas mrówkowy i formaldehyd. Ten pierwszy degraduje komórki nerwowe, a zwłaszcza nerw optyczny, i może człowieka oślepić. Stąd wzięło się powiedzonko: „Pij szybciej, bo się ściemnia". Ponadto kwas mrówkowy trwale uszkadza nerki i wątrobę, co może doprowadzić do śmierci.

Metanol powstaje podczas destylacji napojów alkoholowych, zwłaszcza wysokoprocentowych, takich jak wódka czy whisky, lecz usuwa się go w procesie produkcyjnym, toteż dostępne w sprzedaży produkty raczej go nie zawierają. Ci, którzy pędzą bimber lub wytwarzają inne domowe trunki, muszą robić to jednak bardzo ostrożnie. Przeważnie najpierw w drodze fermentacji skrobi kukurydzianych, pszenicznych lub ziemniaczanych przygotowuje się niskoalkoholową mieszankę zwaną zacierem, którą następnie wlewa się do pełnej rurek aparatury destylacyjnej, podgrzewa i destyluje do postaci wyso-

koprocentowego alkoholu. Z destylatora najpierw wypływa skoncentrowany metanol – należy go wylać. Doświadczeni bimbrownicy o tym wiedzą, jednak każdego roku nieudolne pierwsze próby pędzenia księżycówki pociągają za sobą ofiary w ludziach.

W poszukiwaniu taniego źródła alkoholu ludzie sięgają czasem po bazujące na nim i łatwo dostępne płyny, takie jak płyn chłodniczy, substancje czyszczące czy perfumy. Pomysł ten jest kiepski nie tylko z powodu ohydnego smaku tych cieczy, lecz także dlatego, że producenci nie zawsze usuwają metanol z tych produktów, ponieważ nie są one przeznaczone do konsumpcji. Może to prowadzić do tragicznych konsekwencji. W grudniu 2016 roku pięćdziesiąt osiem osób zmarło w Rosji po wypiciu aromatycznego olejku do kąpieli. Nie zabiły ich dodatki zapachowe, lecz metanol.

Tymczasem na pokładzie samolotu znów zmierzał ku mnie wózek z napojami alkoholowymi, co do których mogłem mieć pewność, że zawierają metanol jedynie w śladowych ilościach, jeśli w ogóle. Stewardesa podeszła do nas i spytała, czy życzymy sobie drinka do posiłku. Susan poprosiła o białe wino, ja postawiłem na czerwone.

– Nie wyczułem tej wanilii w białym – powiedziałem do niej – ale może pani się uda.

Susan uśmiechnęła się, nalała sobie wina i uniosła ku mnie kieliszek w geście toastu. Nic jednak nie powiedziała, tylko wróciła do lektury. Chyba z zadowoleniem przyjęła fakt, że zacząłem się odprężać. Ja także. Alkohol relaksuje ludzi i ułatwia kontakty towarzyskie. To narkotyk, racja, lecz legalny, gdyż dostarcza społeczeństwu więcej korzyści, niż powoduje szkód, a w każdym razie to sobie wmawiamy. Odurzony człowiek może poczuć większe odprężenie, lecz bywa, że staje się agresywny. Tak czy inaczej, obniża się jego zdolność podej-

mowania racjonalnych decyzji. Dlaczego w takim razie podczas prezentacji zasad bezpieczeństwa przed lotem nie pada ani słowo na temat upojenia alkoholowego? Przecież w sytuacji awaryjnej pijany człowiek stwarza większe zagrożenie i podejmuje gorsze decyzje niż trzeźwy, co może wpłynąć na bezpieczeństwo innych pasażerów. O ile oczywiście w instruktażu faktycznie chodzi o bezpieczeństwo – moim zdaniem, jak już wspomniałem, ma on inne cele.

Wino nie zwiększa co prawda bezpieczeństwa pijącego, ale ma zastosowania, o których wspomniała stewardesa: jest tradycyjnym napojem podawanym do posiłków. Poza walorami smakowymi skutecznie oczyszcza podniebienie i pozwala pełniej cieszyć się smakiem potrawy. Jednym z najważniejszych komponentów smaku wina jest cierpkość – poczucie szorstkiej suchości w ustach – jaką wywołują także granat, pikle czy niedojrzałe owoce. Wino swą cierpkość zawdzięcza taninom. Te powstające w skórce winogron cząsteczki rozbijają obecne w ślinie proteiny o nawilżającym działaniu, pozostawiając wrażenie suchego podniebienia. Łagodnie cierpki smak napojów bywa jednak przyjemny, zwłaszcza gdy popija się nimi tłuste potrawy. Choć tłuszcz może nadawać daniom bogaty, wyszukany smak, w nadmiarze maskuje aromat, powlekając jamę ustną lepką, oleistą błoną. Cierpkie napoje przeciwdziałają wrażeniu tłustości, oczyszczają jamę ustną i usuwają posmak jedzenia, przywracając podniebienie do naturalnego stanu.

Badania wskazują, że takie oczyszczanie działa najlepiej, gdy cierpki napój popija się pomiędzy kęsami tłustego jedzenia, dzięki czemu ani cierpkość tanin, ani poczucie tłustości w ustach nie wzrastają nadmiernie. Innymi słowy, dobrze jest pić czerwone wino, jedząc stek lub tłustą rybę, taką jak łosoś, niezależnie od tego, co się mówi o

łączeniu czerwonego wina z rybami. Niektórzy uważają, że jego smak zdominuje delikatny smak ryby, dlatego sięgają po wino białe. W rzeczywistości jednak ta ogólna zasada nie jest zbyt sensowna, bo wiele aromatów obu tych rodzajów win (owocowy, waniliowy itp.) się pokrywa. Przy dobieraniu wina do posiłku znacznie ważniejszymi jego cechami są kwasowość oraz decydująca o wrażeniu suchości w ustach słodycz. Niektórzy wolą na przykład, by wino równoważyło gorzkie nuty potraw, toteż wybierają lampkę trunku wytrawnego i kwaskowego: pełne w smaku białe rioja dobrze się łączy z pieczoną szynką w glazurze, a czerwone pinot noir – ze śródziemnomorską potrawką z ryby.

W wielu kulturach do posiłku nie podaje się wina, lecz alkohole wysokoprocentowe, takie jak wódka. Dzięki zawartości alkoholu sięgającej 40 procent bardzo skutecznie oczyszczają one podniebienie. Alkohol rozpuszcza ponadto tłuszcze i oleje w ustach, a wraz z nimi usuwa wszelkie niepożądane posmaki. Sama wódka jest niemal pozbawiona smaku, dzięki czemu nie kłóci się z wyrazistymi potrawami, takimi jak marynowany śledź.

Czyste wódki są niemal bezsmakowe, ponieważ prawie nie mają zapachu. Choć kubki smakowe w ustach są wrażliwe na podstawowe smaki – słony, słodki, kwaśny, umami oraz gorzki – złożone aromaty potraw i napojów poznajemy dzięki tysiącom receptorów węchowych rozmieszczonych we wnętrzu nosa. To dlatego entuzjaści wina przed piciem zawsze najpierw je wąchają, oceniając bukiet – większa część winnych doznań łączy się z zapachem trunku. Z tego też powodu kieliszki do wina są duże i mają zaokrąglone ścianki. To naczynie tak zaprojektowane, by pozwolić koneserowi nacieszyć się bukietem i wzmocnić przyjemność z picia.

Uwalniający się we wnętrzu ust w trakcie jedzenia zapach potrawy odpowiada za większą część jej smaku. To dlatego podczas przeziębienia, gdy receptory zapachowe zatyka śluz, nie sposób docenić subtelności dań. Z tego też powodu wino smakuje inaczej w różnych temperaturach. Kiedy jest zimne, w ustach uwalniają się tylko najbardziej lotne substancje i to one dominują w profilu smakowym. Wino o wyższej temperaturze nabiera innych nut. Pod wpływem dodatkowej energii ulatnia się więcej cząsteczek zapachowych, co zmienia aromat, a zatem i smak wina. Jednym z głównych powodów znacznych różnic w smaku win czerwonego i białego jest to, że podaje się je w innej temperaturze. Jeśli oba rodzaje schłodzić i skosztować z zamkniętymi oczami, różnice się zacierają. W chłodzie większość cząsteczek odpowiedzialnych za posmaki owocowe pozostaje związana w płynie, zamiast się ulotnić i włączyć do bukietu. Zmienia to balans aromatu – uwypuklają się smaki kwasowe i wytrawne, które u wielu osób wywołują doznanie rześkości i klarowności napoju. Staje się ono szczególnie przyjemne w połączeniu z wrażeniem schładzania podniebienia – tak właśnie powinno smakować białe wino. Jeśli jednak poda się je w temperaturze pokojowej, nabierze całkiem innego charakteru. Kwasowość zostaje wówczas przytłumiona przez owocowe, wyraziste aromaty, które dają wrażenie nie tyle rześkości, ile raczej ciepła. Nie ma jednego właściwego sposobu serwowania wina – wszystko zależy od indywidualnych preferencji.

Czerwone wino w kieliszku i efekt Marangoniego

Czerwone wino, które piłem w samolocie, miało pewnie około 22°C. Ponieważ nalewałem je sobie z małej butelki, miało czas, by się ogrzać do temperatury panującej w kabinie.

Zakręciłem kieliszkiem, by ocenić zawartość alkoholu. Zaobserwowałem efekt Marangoniego – po ściankach naczynia ściekały przejrzyste łezki. Zawarty w winie etanol obniża napięcie powierzchniowe cieczy stykającej się ze szkłem, pozostawiając na jego powierzchni cienką błonkę. Etanol szybko się ulatnia i powstaje warstewka płynu o niższym stężeniu alkoholu, a więc wyższym napięciu powierzchnio-

wym niż w sąsiedztwie. Nierówne rozłożenie napięć sprawia, że ciecz przepływa tam, gdzie jest ono wyższe, i powstaje łezka. Im wyższy procent alkoholu w winie, tym wyraźniejszy efekt Marangoniego. Po jego występowaniu można w przybliżeniu określić moc trunku. Moje czerwone wino pozostawiło na ściankach widoczne kropelki, więc uznałem, że jest dość mocne i zawiera około 14 procent alkoholu.

Przymknąłem oczy i upiłem solidny łyk bez patrzenia na etykietkę. Wrażenia? Poczułem mocny, owocowy aromat, kojarzący się, no cóż, z czerwonym winem. Nie było ani gorzkie, ani słodkie – mógłbym je określić jako dobrze zbalansowane. Wydało mi się jedwabiste i gładkie, ale co właściwie miałoby to oznaczać? Przecież każda ciecz jest z natury gładka. Nie czułem jednak ani suchości, ani szczypania w ustach, a więc nie było cierpkie. Zasmakowało mi. Dopiero wtedy pozwoliłem sobie przeczytać informacje z etykietki, by się dowiedzieć, jak powinno smakować.

„Ciemnopurpurowe o aromacie porzeczki i wiśni z nutą smaku kory. Pełne młodych tanin, lecz zrównoważone, o lekkiej budowie i owocowym finiszu".

„Ha!" – pomyślałem, po czym szybko zerknąłem na Susan, by sprawdzić, czy wciąż czyta. Czytała. Uniosła jednak wzrok i spojrzała na mnie badawczo, a wtedy zdałem sobie sprawę, że odezwałem się na głos. To z kolei uświadomiło mi, że jestem trochę pijany, choć nie tak mocno, by nie zdawać sobie z tego sprawy, a więc nie było tak źle.

Smak wina zależy od jego wyglądu (zwłaszcza projektu etykiety) oraz skojarzeń kulturowych w większym stopniu, niż enolodzy skłonni byliby przyznać. Badania wskazują, że aromat powstaje w mózgu, który nie tylko przetwarza dane napływające z kubków smakowych i receptorów węchu, lecz także z góry wyrabia sobie określone oczeki-

wania względem smaku. Jeśli na przykład kolor lodów truskawkowych zmieni się za pomocą barwnika na zielony, żółty czy pomarańczowy, kosztujące je osoby mogą nie wyczuć smaku truskawek, a ich skojarzenia będą raczej związane z kolorem. Jeśli lody są pomarańczowe, badani stwierdzą, że smakują brzoskwiniami, jeśli żółte – wanilią, jeśli zielone – limonką. Co najciekawsze, kiedy przeprowadziłem ten eksperyment na sobie, dobrze wiedząc, że pomarańczowe lody, które jem, są truskawkowe, i tak wydawało mi się, że mają brzoskwiniowy posmak. Ewidentnie wrażenia smakowe powstają w wyniku działania różnych zmysłów, z których wzrok odgrywa tak dominującą rolę podczas konstruowania smaku przez mózg, że jest zdolny przyćmić informacje płynące z innych źródeł.

Istnieje wiele teorii na temat wpływu wzroku na smak. Jedna z najważniejszych odnosi się do sposobu, w jaki mózg interpretuje bodźce zapachowe. Zapachy dostarczane przez zmysł węchu są przez nas przetwarzane mniej więcej dziesięć razy wolniej niż postrzegane obrazy. Mamy trudności z prawidłową identyfikacją woni. Być może dzieje się tak dlatego, że za odczuwanie określonych zapachów odpowiadają różne receptory w nosie. Nawet specjaliści wyszkoleni w rozpoznawaniu konkretnych substancji za pomocą węchu nie radzą sobie, gdy dany zapach zostanie wymieszany z czterema czy pięcioma innymi. Jeśli wziąć pod uwagę, że wino zawiera tysiące rodzajów cząsteczek zapachowych, staje się jasne, że trafne uchwycenie jego smaku stanowi nie lada wyzwanie. By sobie uświadomić, że węch nie dostarcza dość informacji do jednoznacznego rozpoznawania różnych mieszanek zapachowych, wystarczy zagrać w prostą grę. Zawiąż gościom przy stole opaski na oczach i poproś, by określili, jaki napój zawierają kolejno podawane im szklanki (nalej do nich na przykład sok

pomarańczowy, mleko i zimną kawę). Będą mogli posłużyć się tylko węchem, bez patrzenia czy kosztowania. Niektóre płyny łatwo zidentyfikować, lecz większość sprawia kłopoty. Następnie, nie zdradzając odpowiedzi, poproś, by goście zdjęli opaski i powtórzyli zadanie przy użyciu węchu oraz wzroku. Będzie im teraz znacznie łatwiej, ponieważ wykorzystają doznania, jakie wywoływało u nich oglądanie i wąchanie danego napoju w przeszłości. Ta gra pokazuje, w jak wielkim stopniu polegamy na wzroku przy rozpoznawaniu zapachów, a zatem również smaków.

Badania przeprowadzone we Francji w 2001 roku jednoznacznie wykazały istotną rolę zmysłu wzroku w ocenie smaku wina. Pięćdziesięcioro czworo studentów enologii poproszono o komentarz na temat bukietu dwóch różnych win. Oba pochodziły z Bordeaux. Jedno z nich – białe – wyprodukowano z winogron szczepów semillon i sauvignon, natomiast drugie – czerwone – ze szczepów cabernet sauvignon i merlot. Uczestnicy badania nie wiedzieli jednak, że do białego wina dodano bezsmakowy czerwony barwnik, sądzili więc, że wąchają dwa kieliszki czerwonego wina. Barwa odegrała absolutnie dominującą rolę w zdolności oceny bukietu: specjaliści opisali oba wina jako „ostre", „intensywne" i „porzeczkowe", choć jedno z nich było winem białym o całkiem innym profilu smakowym.

Niezależnie jednak od tego, jak zmienimy barwę napoju, jeśli to, co wyczuwamy na języku, zgadza się z tym, co spodziewamy się zobaczyć, przeważnie bardziej nam smakuje. Również butelka, z której napój jest nalewany, czystość i klimat panujące w pomieszczeniu, atrakcyjność obsługującej nas osoby oraz – zwłaszcza w przypadku wina – mniemanie o wyrafinowaniu i wysokiej jakości trunku wpływają na nasze doznania. Badania wykazały, że wino smakuje nam

mniej lub bardziej w zależności od wskazanego na etykiecie miejsca produkcji oraz od tego, czy przed konsumpcją przeczytaliśmy o nim jakąś pozytywną opinię – na przykład, że zostało nagrodzone. A faktem jest, że organizuje się mnóstwo konkursów, więc większość win zgłaszanych przez wytwórców zdobywa takie czy inne trofeum.

Jeśli nie macie pojęcia o winie, a karta win w restauracji wprawia was w zakłopotanie, pomyślcie o nieznanych nazwach szczepów, krajach pochodzenia i datach produkcji jak o specyfikacji technicznej samochodu. Nie każdego musi interesować, czy dane auto spala benzynę czy olej napędowy, albo czy silnik ma pojemność 1,4 litra czy 2,0. Nie trzeba się tego wszystkiego uczyć na pamięć. Można uznać, że najważniejsze jest to, by pojazd skutecznie przewiózł nas z punktu A do punktu B. Większość win ze średniej półki doskonale się sprawdza pod tym względem, jeśli za transport z A do B uznamy zapewnienie miłych doznań przy jedzeniu, poprawienie nastroju czy przyjemne świętowanie urodzin. Być może należycie jednak do grona osób, które pragną, by samochód spełniał różne dodatkowe wymagania. Czy podczas podróży lubicie ścinać zakręty z piskiem opon, a może wolicie płynną, spokojną jazdę? Jedne wina cechują się ostrzejszymi smakami, drugie – na przykład tak zwane naturalne – potrafią poddać wasze oczekiwania smakowe poważnej próbie. Nie są lepsze, tylko inne, i podobnie jak w przypadku samochodów (oraz większości innych spraw w życiu) cena nie będzie wiarygodnym wskaźnikiem tego, czy dany rodzaj przypadnie wam do gustu. Delektowanie się winem – lub jazdą – jest doświadczeniem, w którym bierze udział wiele zmysłów. Kiedy kupuje się auto drogiej marki, płaci się właśnie za nią, a nie za doznania. Niektórzy uwielbiają bardzo drogie samochody i największą przyjemność czerpią z tego, co ich posiadanie mówi o właścicielu.

Podobnie jest z winami. Nie znaczy to jednak, że drogie wina czy auta są lepsze lub że ci, którzy je wybierają, są bardziej wyrafinowani. Jeżeli posiadanie drogiego wina samo w sobie was nie kręci, po prostu zmarnujecie te 300 złotych, które trzeba zapłacić za butelkę. Większość win ze średniej półki cenowej i wiele z niskiej ma profile smakowe równie złożone jak te najdroższe, czego dowodzą ślepe próby.

Tymczasem w samolocie wypiłem jeszcze jeden kieliszek wina i poczułem nadchodzący ból głowy. Czyżby tak szybko zaczynał się kac? A może byłem po prostu odwodniony? Wino prowadzi do zmniejszenia wydzielania hormonów wysyłających do nerek sygnał, by oszczędzały wodę. Jeśli się jej nie uzupełnia, łatwo o odwodnienie. W zasięgu wzroku nie zobaczyłem nikogo z personelu, więc wyjąłem z bagażu butelkę wody, za którą solidnie przepłaciłem w sklepie bezcłowym. Psyknęła przy odkręcaniu i chciwie wypiłem łyk. O, jak dobrze. Wyjrzałem przez okno i zobaczyłem w dole znacznie większą ilość wody – piękny błękitny ocean rozpościerający się po horyzont.

Głęboka

Woda w mojej butelce była zupełnie inna niż ta w oceanie, który widziałem z okna samolotu. Różnice nie dotyczyły wyłącznie składu – zawartości soli i tym podobnych – lecz także zachowania. Ziemskie oceany są w stanie nieustannego przepływu. Generują wiatr, a potem pozwalają mu sobą poruszać. Tworzą chmury i regulują systemy pogodowe, które wpływają zwrotnie na ich zachowanie. Podgrzewają atmosferę, lecz same także zatrzymują ciepło. Dlatego też, choć oceany pokrywające 70 procent powierzchni naszej planety składają się mniej więcej z podobnych cząsteczek co woda w butelce, nie są po prostu ogromnymi jej zbiornikami. To bestie zupełnie innej natury.

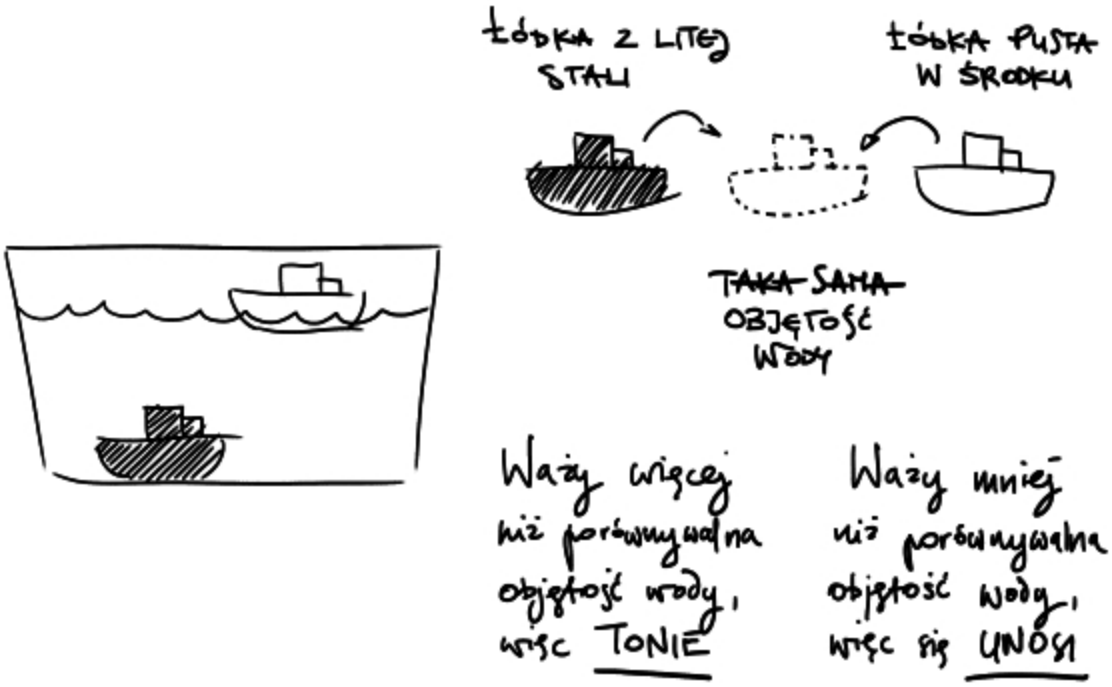
I faktycznie – słowo „bestia" nieźle pasuje, by opisać oceany. Są niebezpieczne dla każdego, nawet dla najlepszego pływaka. Utrzymanie się na ich powierzchni dłużej niż przez kilka godzin jest bardzo trudne. Jeżeli znajdziecie się w roli rozbitków wśród fal, moja rada brzmi: nie traćcie sił na walkę z prądem. Unoście się na plecach i czekajcie na ratunek. Choć termin „unoszenie się" niezbyt dobrze opisuje to, co dzieje się w wodzie z ludzkim ciałem. W ten sposób można mówić o statkach. Te majestatyczne konstrukcje przecinają morską taflę zanurzone tylko w niewielkim stopniu. Ilekroć sam także próbuję się „unosić" na wodzie, większość mojego ciała zaraz tonie – czasem udaje mi się utrzymać nos nad powierzchnią i parskam jak wieloryb, bezskutecznie usiłując oddychać i jednocześnie nie dopuścić do zalania tchawicy. Sądzę, że aby można było mówić o prawdziwym unoszeniu się na wodzie, obiekt powinien po niej pływać bez wysiłku.

Nie jest to jednak typowa definicja tego terminu i na pewno nie to miał na myśli Archimedes, gdy dwa tysiące lat temu odkrył prawo wyporu i, jak wszyscy wiemy, wykrzyknął w wannie: „Eureka!”.

Archimedes był greckim matematykiem i inżynierem, który zaobserwował, że podczas zanurzania się w wannie podnosi się poziom wypełniającej ją wody. Wydaje się to oczywiste: człowiek siada w miejscu, w którym wcześniej była woda. Ponieważ nie może się ona ścieśnić jak materac, musi opłynąć ciało i znaleźć sobie nowe miejsce. W przestrzeni ograniczonej ściankami wanny może jedynie płynąć w górę, co sprawia, że jej poziom wzrasta. Jeśli wanna jest już pełna, woda przeleje się przez brzeg, gdy tylko do niej wejdziemy. I tutaj dochodzimy do najważniejszej części słynnego eksperymentu Archimedesa. Jeśli zbierzemy wylaną wodę do innego naczynia, odkryjemy coś interesującego: jej waga będzie równa tak zwanej sile wyporu działającej na zanurzone ciało. To prawo odnosi się do wszystkich obiektów. Eureka!

Archimedes odkrył, że można przewidzieć, czy dane ciało będzie pływać czy zatonie, po prostu mierząc ilość wypartej przez nie wody. W przypadku ciał stałych wystarczy porównać ich gęstość z gęstością wody. Dlatego drewno, które w jednostce objętości waży mniej niż woda, ma mniejszą od niej gęstość, dzięki czemu unosi się na powierzchni. Stal jest gęstsza, więc tonie. Ale uwaga: można wykonać nietonący kadłub ze stali, o ile będzie pusty w środku. Wówczas średnia gęstość obiektu będzie mniejsza od gęstości wody, co pozwoli mu się unosić. Bardzo proste. Przenosimy się w czasie o dwa tysiące lat od chwili olśnienia Archimedesa – do epoki, w której cena stali jest na tyle niska, by można było z niej budować statki. Nasza współczesna flota transportowa, która przewozi 90 procent wszystkich towa-

rów na świecie, wykonana jest niemal w całości ze stali.


łódka z litej stali
łódka pusta w środku
taka sama objętość wody
Waży więcej niż porównywalna objętość wody, więc TONIE
Waży mniej niż porównywalna objętość wody, więc się UNOSI

Obiekt unosi się na wodzie lub tonie zależnie od tego, czy waży mniej czy więcej niż ilość wody o takiej samej objętości

Ciało człowieka składa się z materiałów o większej (kość) i mniejszej (tkanki miękkie) gęstości, a tu i ówdzie jesteśmy puści. Ogólnie rzecz biorąc, średnia gęstość ciała jest odrobinę mniejsza niż wody, możemy się więc na niej unosić. Jeśli jednak założymy coś ciężkiego, na przykład metalowy pas, który sprawi, że gęstość ciała zrówna się z gęstością wody, wówczas nie będziemy się ani unosić, ani tonąć – to idealne warunki do nurkowania. Gdy tak zwana pływalność pod wodą jest zerowa, wówczas żadna siła nie wypycha nas na powierzchnię ani nie ciągnie ku dnu oceanu. W ekwipunku nurkowym człowiek nie

ma ciężaru i może eksplorować rafy koralowe lub zatopione wraki w głębinach. To uczucie tak bliskie wrażeniu nieważkości w kosmosie, że astronauci wykorzystują baseny pływackie do ćwiczeń.

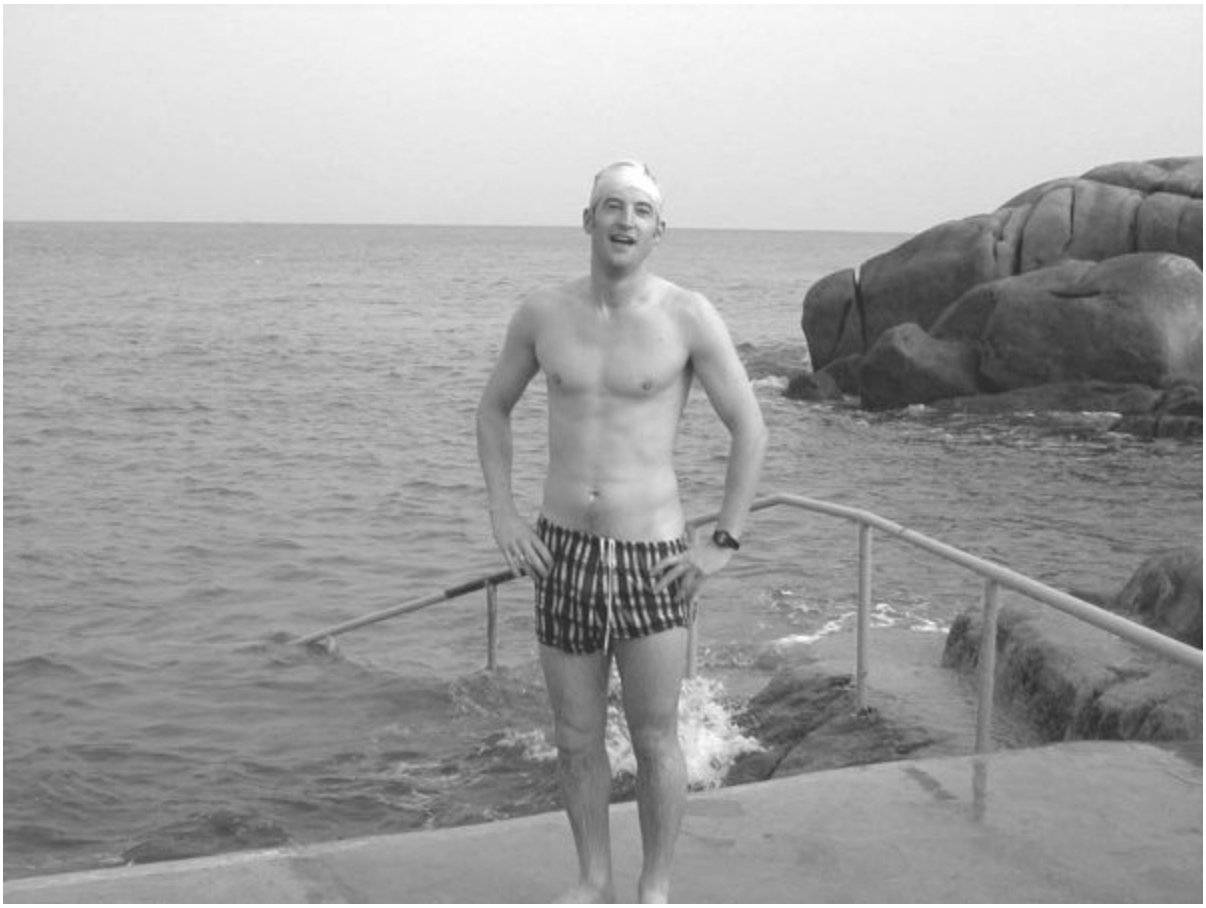
Bez akcesoriów nurkowych ciało człowieka unosi się na wodzie. Ponieważ jednak jesteśmy od niej tylko odrobinę mniej gęstsi, ponad 90 procent ciała będzie znajdować się pod powierzchnią. Osoby grubsze cechuje lepsza pływalność niż szczupłe, ponieważ za sprawą większego stosunku masy tłuszczowej do kostnej mają mniejszą średnią gęstość ciała. Także pianka do nurkowania zwiększa pływalność, gdyż nurek zostaje obleczony w sporą ilość lżejszego od wody materiału. Nieco łatwiej jest unosić się na powierzchni morza niż basenu, ponieważ woda morska zawiera różne związki, między innymi sól, czyli chlorek sodu. Atomy sodu i chloru dostają się pomiędzy cząsteczki wody, a wówczas staje się ona gęstsza i wystarczy wyprzeć mniejszą jej ilość w porównaniu do czystej wody, by unosić się na powierzchni. Stężenie soli w Morzu Martwym jest tak duże (dziesięciokrotnie większe niż w Oceanie Atlantyckim), że pływak kołysze się w nim jak spławik i nie tonie.

Człowiek unoszący się na powierzchni Morza Martwego

Skoro potrafimy unosić się na wodzie, możemy także pływać, co jest jedną z największych przyjemności w życiu. Człowiek nie tylko nie ma wówczas wagi, ale może też sunąć swobodnie przed siebie niczym tancerz. Tuż pod taflą kryje się tajemna rzeczywistość. Zapomnijcie o kosztownej eksploracji Marsa czy podnietach poszukiwania życia na innych planetach – z praktycznego punktu widzenia to właśnie oceany są dla nas zupełnie obcym światem. Aby go odwiedzić, wystarczy założyć okulary pływackie, wskoczyć do wody i energicznie poruszać nogami, kierując się w dół. Szybowanie ku turkusowym głębinom rafy jest jednym z najcudowniejszych doświadczeń. Ryby obserwują nas znużonym spojrzeniem i sprawnie ustępują z drogi szyb-

kimi machnięciami ogona. Podczas pływania sięgamy ramieniem w przód, po czym szybko je cofamy, sprawiając, że cząsteczki wody nie są w stanie dość szybko przesunąć się obok siebie, lecz się tłoczą, wywierając nacisk na pływaka. I oto esencja pływania – nieustanne przesuwanie wody za pomocą ramion i nóg, by powstała w ten sposób siła pchała nas naprzód. Doznanie to jest nie tylko ekscytujące – wręcz zupełnie nas odmienia. Jeśli na lądzie poruszamy się niezdarnie i ciężko, w wodzie możemy wirować i szybować niczym delfin. Jesteśmy wolni.

Mieszkałem dawniej w dzielnicy Dublina zwanej Dún Laoghaire, skąd spacerkiem można było dotrzeć do Forty Foot, rozsławionego przez Jamesa Joyce'a w *Ulissesie* kąpieliska przy skalistym cyplu Zatoki Dublińskiej, gdzie od wieków mieści się klub pływacki. Pewnego zimowego dnia 1999 roku przystanąłem nieopodal i zobaczyłem ludzi w różnym wieku, choć w większości starszych, wskakujących do wody, by popływać. Powietrze miało może 12°C, a woda najwyżej 10. Miałem na sobie grubą kurtkę, ale i tak czułem silne podmuchy zimnego wiatru znad Morza Irlandzkiego, gdy fale rozbijały się o betonowe molo. Mimo to grupa starszych osób, ludzi, którym lekarze zwykle zalecają, by w taką pogodę ciepło się ubierali, wbiegała do mroźnej wody. Kiedy wycierali się po zażyciu kąpieli, podszedłem, by porozmawiać. Byli szczęśliwi, uśmiechnięci i radośni. Szczękali zębami z zimna, ale ewidentnie przepełniał ich entuzjazm. Powiedzieli mi, że pływają codziennie, niezależnie od pory roku i pogody, ja zaś, pracując w Irlandii, stopniowo przekonywałem się, że ciepłe dni należą tam do rzadkości.



Autor po kąpieli w dublińskim kąpielisku Forty Foot

Postanowiłem do nich dołączyć i jeszcze tego samego dnia kupiłem czepek pływacki. Od tego momentu pływałem w Forty Foot w każdym tygodniu roku. Gdy spoglądam wstecz, jest to jedna z rzeczy, których najbardziej mi brakuje po wyprowadzce z Dublina. Ale dlaczego tak mi się to spodobało?

Zanurzanie się w dziesięciostopniowej wodzie nie należy do przyjemności Przypomina raczej cios w policzek. Rzecz nie w tym, że jest ona lodowata, ale w tym, że temperatura oblewanego przez nią ciała jest o dobre 25 stopni wyższa. Cząsteczki wody zabierają ciepło. Ponieważ ciecze są gęstsze niż gazy, w każdej sekundzie z odsłoniętą

skórą styka się znacznie więcej molekuł wody niż powietrza, toteż po zanurzeniu ciało dużo gwałtowniej traci ciepło.

Doznania te pogarsza jeszcze jedna cecha wody, zwana jej pojemnością cieplną. W zetknięciu z gorącym przedmiotem cząsteczki wody zaczynają szybko drgać. Właśnie te wibracje nazywamy temperaturą. Im szybsze drgania, tym gorętsza woda. Wiązania wodorowe w cząsteczkach opierają się wibracjom, trzeba więc dostarczyć sporo energii, by podnieść średnią temperaturę litra cząsteczek wody choćby o jeden stopień. By lepiej to sobie uświadomić, warto wspomnieć, że potrzeba dziesięć razy więcej energii do podgrzania wody niż podgrzania miedzi o tej samej masie. Wyjątkowo wysoka pojemność cieplna wody – najwyższa spośród wszystkich cieczy poza amoniakiem – tłumaczy, dlaczego konieczne jest tak wiele energii, by zaparzyć herbatę, i dlaczego czajnik elektryczny zwykle bywa najbardziej energochłonnym urządzeniem w kuchni.

Ta właściwość wody wpływa na nasze życie również na inne sposoby. Dzięki niej oceany magazynują dużo ciepła i zawsze mają niższą temperaturę niż powietrze. Jeśli w słoneczny dzień w Dublinie temperatura powietrza będzie wynosić 22°C, temperatura wody może nie wzrosnąć choćby powyżej 10°C. Niestety, Irlandczycy prawie nigdy nie mają okazji nacieszyć się rozgrzanymi letnim słońcem falami, nim zima ponownie je zmrozi. Jednak dla całego gatunku ludzkiego wysoka pojemność cieplna oceanów jest korzystna, bo absorbują one znaczną część ciepła, hamując tym samym zmiany temperatury będące skutkiem zmian klimatycznych. Innymi słowy: stabilizują klimat – dzięki nim zimą jest nam cieplej, a latem chłodniej.

Jednak fakty te nie tłumaczą jeszcze, dlaczego tak bardzo lubię pływać w zimnym morzu. Nie należę do grona surwiwalowców, którzy

najlepiej czują się zziębnięci i przemoczeni. Jestem naukowcem i inżynierem spędzającym większość czasu w laboratorium albo warsztacie. Pewnie właśnie w tym rzecz: morze wydaje się tak cudownie dzikie i nieprzewidywalne, że nieświadomie chcę doświadczyć w nim zupełnie innych doznań niż te, które towarzyszą mi na co dzień. Podczas nurkowania w zimnych wodach trzeba pływać intensywnie, żwawo i czujnie. To doświadczenie tak nieprzyjemne, że człowiek oczyszcza świadomość ze wszystkich absorbujących go myśli. Gdy walczy o każdy oddech w groźnych, nieposkromionych falach, przestaje się przejmować nieudanymi eksperymentami, niczym niepopartymi teoriami czy nawet rozpadającym się związkiem.

Trzeba także pamiętać o niebezpieczeństwie hipotermii. Dochodzi do niej, gdy temperatura wnętrza ciała spada poniżej 35°C. Najpierw człowiek zaczyna dygotać, co powoduje odpływ krwi od głównych narządów. Skóra blednie, dłonie i stopy sinieją. W bardzo mroźnych wodach może dojść do wstrząsu, wskutek którego pływak zaczyna szybko, nieopanowanie dyszeć, a jego tętno gwałtownie wzrasta, co prowadzi czasem do ataku paniki, oszołomienia i utonięcia. Nawet spokojna osoba może jednak przebywać w wodzie o temperaturze 0°C nie dłużej niż piętnaście minut, inaczej wskutek hipotermii straci władzę w kończynach, co będzie mieć fatalne skutki.

Myślę, że ku dziesięciostopniowym falom Forty Foot w te oszronione, szare, styczniowe poranki przyciągała mnie właśnie zimna dłoń śmierci. Czułem, że żyję, że droczę się z kostuchą, która była tak blisko mnie… A potem wychodziłem bez szwanku na brzeg.

No, prawie bez szwanku. Zdarzyło się raz, że miałem mniej szczęścia. W pewną sobotę w lutym teren kąpieliska był opustoszały. Nie dostrzegłem żadnego z pływających tu zazwyczaj seniorów. Trwał

przypływ, woda się burzyła, a od czasu do czasu większa fala roztrzaskiwała się o schodki, na których przebierałem się w kąpielówki. Dygotałem, a na omiatanym zimnym wiatrem ciele miałem gęsią skórkę. Już miałem wskoczyć do wody, ale się zawahałem. Nigdy wcześniej w tym miejscu nie pływałem sam ani nie widziałem tak wzburzonych wód. „Może to dlatego nikt się nie kąpie?" – pomyślałem. Mijały pełne wątpliwości sekundy. Pamiętam, jak się motywowałem: „Tyle zachodu z przebieraniem się w kąpielówki i nawet nie popływam? Aż tak bardzo się boję?". I w końcu skoczyłem w fale.

Jak zawsze otrzymałem cios w twarz i poczułem się tak, jakby ocean mnie zaatakował, wysysając ze mnie życie. Jak zwykle w takim momencie zacząłem energicznie płynąć – skierowałem się ku otwartemu morzu, walcząc z nacierającymi falami i próbując zignorować lodowate, przenikające kończyny zimno. Przepłynąłem spory kawałek, nim się zatrzymałem, by zaczerpnąć powietrza, a wtedy fala zalała mi twarz. Nałykałem się wody, zakaszlałem, parsknąłem i znów wziąłem wdech, lecz w tej chwili nadciągnęła kolejna fala. Tym razem się zakrztusiłem. Woda wdarła mi się do tchawicy. Zacząłem tłuc ramionami, by się wynurzyć i zyskać choć kilka sekund swobodnego oddechu, ale nie byłem w stanie. Morze było zbyt wzburzone i wciąż uderzały we mnie fale. Wpadłem w panikę, zacząłem desperacko dyszeć i kopać pod wodą, by nie utonąć. Przy którejś kolejnej fali panika zmieniła się w wyczerpanie. Nie mogłem wygrać tej walki, byłem przemarznięty i śmiertelnie zmęczony.

I wtedy wpadłem na skały. Gdy walczyłem o oddech – sam nie wiem, jak długo – prąd przypływu znosił mnie ku głazom otaczającym Forty Foot i chroniącym zatoczkę przed zimowymi sztormami. Każdy z kamieni opuszczonych tutaj za pomocą portowego żurawia

był wielkości małego samochodu. W normalnych okolicznościach należy wystrzegać się tak niebezpiecznych sytuacji. Nie sposób określić, z jaką prędkością uderzy się w głazy, zależy to niemal wyłącznie od wielkości, wysokości i szybkości fal. W tym momencie poczułem jednak ulgę. Po zderzeniu z kamieniami byłem cały poharatany i posiniaczony, lecz zyskałem szansę na ucieczkę. Nie było to wcale łatwe – cofające się po natarciu na brzeg bałwany ściągały mnie z powrotem i oddalały od niego. Dopiero przy trzeciej czy czwartej fali, czepiając się głazów, kalecząc się i krwawiąc, zdołałem jakoś wspiąć się na górę i ostatecznie wyjść z morza.

Później jeszcze wiele razy przeżywałem tę sytuację, zwłaszcza podczas podziwiania nieziemskiego piękna rozległego oceanu. Tu, w samolocie lecącym na wysokości 12 kilometrów, ze zdwojoną siłą wróciło do mnie tamto poczucie bezsilności. Wiem, że mogłem wówczas utonąć – wystarczyło, bym zachłysnął się jeszcze jedną falą, albo by prąd zniósł mnie w głąb morza zamiast na skały. Wiele osób ginie w podobnych okolicznościach. Wiem, że postąpiłem głupio. Ocean może cię pochłonąć bez śladu, co staje się przerażająco jasne, gdy patrzy się na jego surowy bezkres z wysokości stratosfery. Odwróciłem się do Susan, by sprawdzić, czy nie chciałaby pogadać o oceanach, falach i przypadkowych utonięciach, ale ona, owinięta w koc, z kolanami przyciśniętymi do piersi, oglądała właśnie jakiś film *science fiction*. Na ekranie zobaczyłem statek kosmiczny wlatujący na orbitę ogromnej planety.

Gdy mowa o zbiornikach wodnych, wielkość ma znaczenie. Wiejący nad lustrem wody wiatr traci prędkość za sprawą tarcia, lecz zarazem wywiera ciśnienie na wodę. Powstaje wówczas wgłębienie w tafli, która wskutek napięcia powierzchniowego opiera się presji niczym

gumowa taśma podczas rozciągania. Gdy podmuch ustaje, w rezultacie zaniku napięcia i w wyniku oddziaływania grawitacji tafla wraca do pierwotnej formy niczym puszczona guma. Formowaniu się wgłębienia towarzyszy powstanie zmarszczki, która rozchodzi się na zewnątrz – jedna cząsteczka wypiera drugą, druga trzecią i tak dalej. Fale to w gruncie rzeczy porcja energii wiatru przekazana tafli wody. Woda się burzy, co jeszcze bardziej zwiększa opór, jaki wiatr napotyka przy powierzchni. Do jednej zmarszczki dołączają kolejne i nabierają wysokości. Im wyższe fale, tym mocniejsze oddziaływanie siły, która ściąga je z powrotem w dół, a więc tym większe wzburzenie wody. Jednak zmarszczki na jej powierzchni nie mogą narastać w nieskończoność – w pewnym momencie uderzają w brzeg i większość ich energii pochłania ziemia. Stają się tym wyższe, im dłużej płyną, dlatego na małym stawie nigdy nie będą zbyt wielkie, natomiast na sporym jeziorze pod wpływem wiatru mogą przeobrazić się w pokaźne fale.

Szczyt fali nazywamy grzbietem, a jej dolną część – doliną. Gdy mowa o wielkości fali, chodzi o odległość między tymi dwoma punktami. Dopóki jest ona mniejsza niż głębokość zbiornika, fala przemieszcza się swobodnie. Po dotarciu do płycizny dolina sięga dna i powstaje tarcie, które spowalnia falę, aż w końcu doprowadza do jej załamania na plaży.

W szerokim na tysiące kilometrów oceanie zmarszczki na wodzie mają czas i przestrzeń, by urosnąć na wysokość kilku metrów. Wiatr, który przez dwie godziny wieje nad powierzchnią wody z prędkością 20 kilometrów na godzinę, może doprowadzić do powstania fal o wysokości 30 centymetrów. Jeśli wieje z prędkością 50 kilometrów na godzinę przez cały dzień, fale rosną do 4 metrów. Przy wichrze pę-

dzącym 75 kilometrów na godzinę przez trzy lub cztery dni mogą osiągnąć 8 metrów. Największe sztormowe fale zanotowano podczas tajfunu na Tajwanie w 2007 roku – miały 32 metry wysokości.

Fale wytworzone przez sztorm nie ustają wraz z poprawą pogody. Jak zmarszczki na wodzie, poruszają się dalej przez ocean. Ważna staje się wówczas ich długość, czyli odległość pomiędzy dwoma grzbietami. Podczas sztormu trudno jest ją określić, ponieważ jedne nakładają się na drugie. Wzburzone morze wygląda jak ruchome trzęsawisko pełne szalejącej wody. Po burzy fale płyną jednak dalej, a ponieważ różnią się długością, poruszają się z innymi prędkościami. Z czasem w obrębie jednej grupy wyrównują się względem siebie i przemieszczają równolegle. W końcu docierają do brzegu i uderzają w niego w uporządkowany, regularny sposób. Szum fal na plaży to w gruncie rzeczy dźwięk sztormu, który rozpętał się gdzieś bardzo daleko. Ich piękny, hipnotyzujący rytm zawdzięczamy złożoności dynamiki oceanu.

Fale sztormowe powstają w wielu miejscach na oceanie i wydaje się wręcz zaskakujące, że przeważnie uderzają w brzeg równolegle do niego. Można by uznać, że powinny napływać pod kątem wyznaczonym przez linię prostą między lądem a punktem, w którym powstały. Mają jednak asa w rękawie. Prędkość fali rozchodzącej się nad głębiną pozostaje stała, bo prawie nic jej nie spowalnia. Kiedy jednak fala dociera do lądu, trafia na obszar płycizny i jej dolina wchodzi w interakcję z dnem, co sprawia, że staje się wolniejsza. Inne odcinki tej samej fali, które nie dopłynęły jeszcze do płytkiego obszaru, wciąż jednak zachowują tę samą prędkość, jaką miały na początku. Ta różnica sprawia, że fala wyrównuje się względem brzegu, tak jak hamowanie jednym kołem zmienia kierunek jazdy samochodu. W rezultacie, gdy

morskie fale docierają do plaży, ich kształt jest zgodny z konturem płycizny, ta zaś przeważnie biegnie równolegle do linii brzegowej. To dlatego większość fal uderza w plażę pod tym samym kątem.

Wiedzą o tym surferzy. Śledzą zachowanie fal na płyciźnie – dzięki temu surfing jest tak ekscytujący. Wyobraźcie sobie, że siedzicie na desce, wpatrując się w morze w poszukiwaniu odpowiedzi na kluczowe pytanie: gdzie i kiedy zaczną się załamywać fale? Sunąc w stronę brzegu, zwalniają na mieliźnie, lecz jednocześnie nabierają wysokości. Im płytsza woda, tym wyższa fala. W końcu jej stok staje się tak stromy, że traci stabilność. Można wtedy zjechać po fali na desce jak na nartach po zboczu góry.

Surfing wymaga zmysłu równowagi, wyczucia czasu oraz wiedzy o zachowaniu się fal. Aby surfer mógł płynąć równolegle do fali, jeden jej fragment musi zacząć się załamywać nieco wcześniej niż reszta. By tak się stało, głębokość wody powinna maleć stopniowo wzdłuż konturu linii brzegowej, ponieważ punkt załamania fali zależy od głębokości wody, w której fala się przemieszcza. Trzeba także uwzględnić pływy w ciągu doby zmieniające głębokość wód pod wpływem grawitacji Słońca i Księżyca.

Podsumowując – by powstała dobra fala, gdzieś na morzu musi rozpętać się sztorm. Wytwarza on wówczas fale na tyle duże, by mogły przemierzyć ocean i dotrzeć do plaży o odpowiednio ukształtowanym przybrzeżnym dnie. Fale muszą się pojawić we właściwej porze i fazie pływowej. Wtedy, jeśli traficie na ten idealny moment, odziani w piankę i z naszykowaną deską w ręku, możecie załapać się na cudowną falę. Zgranie w czasie tak wielu elementów czyni z surfingu bardzo wyjątkowy sport, wymagający od surferów dogłębnego zestrojenia ze sztormami, Słońcem, Księżycem i wodą, po której się ślizga-

ją.

Nawet jeśli nie jesteście amatorami fal, i tak warto poznać zjawiska występujące na mieliźnie, ponieważ ta wiedza może ocalić życie. Rankiem 26 grudnia 2004 roku turyści na tajskiej wyspie Phuket podczas spaceru po plaży zauważyli coś dziwnego. Morze szybko się cofało, odsłaniając zanurzone zwykle pod powierzchnią skały i pozostawiając łodzie na mieliźnie. Dzieci i rodzice przyglądali się w zdumieniu temu zjawisku, kiedy raptem nadciągnęły wielkie fale. Pomyśleli, że nigdy wcześniej nie widzieli niczego podobnego. Mylili się – obserwowali takie zjawisko wiele razy. Była to fala rosnąca na płytkiej wodzie, tyle że gigantyczna: tsunami.

Kilka godzin wcześniej pośrodku Oceanu Indyjskiego doszło do pęknięcia w skorupie ziemskiej, w wyniku czego nastąpiło trzęsienie ziemi o magnitudzie 9,0. To potężny wstrząs. Oszacowano, że uwolnił energię dziesięciokrotnie większą niż ta, z którą eksplodowała bomba atomowa nad Hiroszimą. Ponieważ jednak zdarzyło się to daleko na oceanie, nie odnotowano wielu bezpośrednich zniszczeń ani ofiar. Trzęsienie ziemi nie tylko jednak poszarpało płyty tektoniczne skorupy ziemskiej, lecz także doprowadziło do uniesienia się dna morskiego o kilka metrów. Doszło do przemieszczenia około 30 kilometrów sześciennych wody. To ogromna ilość – ekwiwalent 10 milionów basenów olimpijskich. I podobnie jak poruszanie się w wannie sprawia, że woda chlapie i odbija się między ściankami zbiornika, tak trzęsienie ziemi wprawiło w ruch gigantyczne ilości cieczy.

Fale – jak to fale – zaczęły się rozchodzić w oceanie we wszystkich kierunkach. Gdyby ktoś obserwował moment narodzin tsunami z samolotu, zapewne nie uznałby go za szczególnie groźne zjawisko. Fale rozeszły się na tak wielką odległość i w wodach tak głębokich, że da-

łoby się zauważyć jedynie drobne zmarszczki. Tym, co mogłoby nas zaniepokoić, byłaby natomiast ich szybkość. Ponieważ trzęsienie ziemi wyzwoliło wielkie ilości energii w krótkim czasie, fale poruszały się z prędkością odrzutowca – od 500 do 900 kilometrów na godzinę. Dotarłszy do płytkich wód Morza Andamańskiego, zwolniły i nabrały wysokości. Im bardziej zbliżały się do brzegu, tym mocniejszy stawał się efekt bliskości płycizny. Ponieważ fale miały długość setek metrów, ludzie na plaży zobaczyli najpierw gwałtowny odpływ wody ku morzu. Gdyby zrozumieli, co to oznacza, mieliby około minuty na ucieczkę w położone wyżej miejsca. Niestety, większość z nich nie wiedziała, co się dzieje – w przeciwieństwie do zwierząt przy brzegu, które wyczuły nadejście katastrofy i uciekły. W tych, którzy pozostali, uderzyła pierwsza fala – o wysokości 10 metrów.

Nadejście tsunami

Tsunami zabiło w sumie 227 898 osób na wybrzeżach piętnastu krajów. Kataklizm tego rodzaju jest bardzo niebezpieczny nie tylko z powodu ogromnych ilości zrzucanej na ląd wody, lecz także za sprawą siły, jaką wywiera ona na wszystkie napotkane przeszkody. Jeden metr sześcienny wody waży tonę, tsunami przemieściło zaś 30 miliardów metrów sześciennych. Fala niszczyła chaty, drzewa i samochody, tworząc rzekę szczątków, które uderzały w inne obiekty. Zmyła cysterny z wodą pitną i domy, ciskając nimi w mosty oraz słupy elektryczne, które runęły, wywołując śmiertelnie niebezpieczne pożary. Ludzie porwani przez ten nurt zostali przygnieceni lub zmiażdżeni przez pędzące z impetem szczątki. Wielu straciło przytomność lub

odniosło rany, które uniemożliwiły im utrzymanie się na powierzchni. Fale tsunami, podobnie jak sztormowe, nadchodzą w grupach. Gdy pierwsza z nich (która wdarła się miejscami na dwa kilometry w głąb lądu) zaczęła się cofać przed nadejściem drugiej, nurt zmienił kierunek i skierował porwanych ludzi oraz szczątki prosto na kolejną uderzającą falę.

Ocalali z katastrofy musieli się mierzyć z jej następstwami, z których najgroźniejszym było zanieczyszczenie wody pitnej. Jej zasoby na terenach dotkniętych kataklizmem zostały skażone zawartością zniszczonej kanalizacji oraz wodą morską. Trzeba było jak najszybciej pochować dziesiątki tysięcy ciał, by zapobiec wybuchowi epidemii. Długotrwałe oddziaływanie słonej wody na ziemie uprawne sprawiło z kolei, że nie można było z nich korzystać.

Choć tsunami z 2004 roku było katastrofalne w skutkach, to, które nawiedziło Japonię w 2011 roku, okazało się jeszcze potężniejsze. Powstało w wyniku silnego trzęsienia ziemi – czwartego pod względem magnitudy od czasu prowadzenia pomiarów – którego epicentrum znajdowało się pod dnem oceanu, 70 kilometrów od Honsiu, największej spośród Wysp Japońskich. Ziemia trzęsła się wyczuwalnie przez sześć minut, lecz największe zniszczenia spowodowała fala, która rujnowała całe miasta i uderzyła w elektrownię atomową Fukushima nr 1.

Ten zbudowany w 1971 roku zakład dysponował sześcioma reaktorami jądrowymi. Reaktor taki składa się z prętów wykonanych z tlenku uranu, których wiązka tworzy rdzeń i emituje promieniowanie w postaci cząsteczek o bardzo wysokiej energii. W elektrowni jądrowej większość tej energii jest przeznaczona na podgrzewanie wody i generowanie pary, która napędza turbiny prądotwórcze. To system tak

wydajny, że zestaw prętów z tlenku uranu o wielkości małego samochodu wystarczy, by dostarczać energię milionowemu miastu przez dwa lata. Przed nadejściem tsunami sześć reaktorów Fukushimy przez 24 godziny na dobę i 365 dni w roku zaopatrywało w energię około 5 milionów ludzi.

Japonia zmaga się z trzęsieniami ziemi od niepamiętnych czasów, ponieważ leży na granicy dwóch wielkich płyt tektonicznych. Elektrownię w Fukushimie zaprojektowano w taki sposób, by potrafiła im się oprzeć – i faktycznie, zarówno ona, jak i pozostałe pięćdziesiąt cztery japońskie reaktory wyszły z katastrofy bez szwanku. Trzęsienie ziemi, które nastąpiło 11 marca 2011 roku, w żaden sposób nie zaszkodziło elektrowni. Z powodów bezpieczeństwa trzy reaktory (numer 1, 2 i 3) samoczynnie się wyłączyły. (Pozostałe – numer 4, 5 i 6 – były nieczynne z powodu odbywającej się wówczas wymiany paliwa). Reaktora nie można jednak tak po prostu wyłączyć. Wciąż będzie generował promieniowanie radioaktywne i ciepło. Trzeba go nieustannie schładzać, by zapobiec stopieniu się tlenku uranu. Kiedy elektrownia jest wyłączona, energię potrzebną do zasilania pomp chłodzących produkują dieslowskie generatory.

W wyniku trzęsienia ziemi z 2011 roku zginęło ostatecznie 13 tysięcy osób, lecz w chwili, gdy wstrząsy ustały, a reaktory się wyłączyły, 90 procent z nich jeszcze żyło. Nagle, 50 minut później, trzynastometrowe tsunami sunące z prędkością 500 kilometrów na godzinę uderzyło w elektrownię. Napierająca woda zniszczyła zaporę oddzielającą teren zakładu od morza i zalała budynki z generatorami prądotwórczymi, niezbędnymi do chłodzenia prętów paliwowych. Generatory stanęły, zadziałał jednak korzystający z akumulatorów system zapasowy, zdolny zasilać pompy przez 24 godziny. W normalnych okolicz-

nościach dałoby to więcej czasu, niż potrzeba na naprawę generatorów lub wymianę wyczerpanych akumulatorów. Niestety, tsunami – największe odnotowane w Japonii w czasach współczesnych – niszczyło wszystko na swej drodze. Siła wody zrównała z ziemią wiele miast, zrujnowała 45 tysięcy budynków, zniszczyła prawie ćwierć miliona pojazdów. Drogi i mosty w regionie stały się nieprzejezdne. Tereny dotknięte powodzią zamarły i dotarcie z pomocą medyczną do ocalałych okazało się niezwykle trudne, podobnie jak dostarczenie zapasowych akumulatorów do Fukushimy na czas. 24 godziny po uderzeniu wielkiej fali akumulatory się wyczerpały, a temperatura w reaktorach zaczęła wzrastać.

Gdy nuklearne pręty paliwowe ulegają stopieniu, wyglądają jak lawa, lecz tworząca je ciecz osiąga dużo wyższą temperaturę. Lawa wycieka z wulkanu rozgrzana do czerwoności i zwykle ma około 1000°C. Stopione paliwo z tlenku uranu jest znacznie bardziej przerażające – rozpalone do białości ma ponad 3000°C. Topnieje i rozpuszcza prawie wszystko, z czym się zetknie. W Fukushimie roztopiło ściany stalowego zbiornika o grubości 25 centymetrów, po czym zaczęło się przegryzać przez betonową podłogę co najmniej jednego z reaktorów. Ale to był dopiero początek.

Paliwo nuklearne w reaktorze umieszczone jest w pojemniku zrobionym z cyrkonu. Pierwiastek ten jest niebywale odporny na korozję, chyba że zachodzi ona w wysokiej temperaturze. Przy 3000°C cyrkon gwałtownie reaguje z wodą i powstaje wówczas wodór w postaci gazowej. Według szacunków w wyniku stopienia się prętów w każdym z reaktorów zebrało się go 1000 kilogramów. 12 marca w budynku reaktora gaz wszedł w reakcję z powietrzem i doszło do eksplozji, która zniszczyła cały kompleks.

Ciecze niezwykle trudno kontrolować, wielka ilość radioaktywnych zanieczyszczeń przedostała się do lokalnych systemów wodno-kanalizacyjnych, a później do morza. Tam zaczęły się swobodnie rozprzestrzeniać. Głównym zmartwieniem wszystkich inżynierów zajmujących się odpadami atomowymi jest niedopuszczenie do przedostawania się wody do ich składowisk. Mimo to elektrownie jądrowe buduje się przy wielkich zbiornikach – nie z powodów bezpieczeństwa, lecz ponieważ tak jest po prostu taniej. Elektrownia wykorzystuje wodę do chłodzenia i jej łatwa dostępność skutkuje zwiększeniem wydajności energetycznej, pozwalając obniżyć koszta działania zakładu. Jak jednak widzieliśmy w Fukushimie, w razie katastrofy zbiorniki wodne są zagrożone skażeniem przez ogromne ilości odpadów radioaktywnych.

Podobne problemy nie dotyczą wyłącznie energetyki nuklearnej. Prawie wszystkie większe miasta świata zbudowano na wybrzeżu, ponieważ w dawnych czasach handel między krajami opierał się na istnieniu portów. Dziś jednak, w dobie wywołanego zmianami klimatu podwyższania się poziomu mórz, te gęsto zaludnione miasta będą coraz bardziej narażone na uderzenia tsunami, huraganów i sztormów. Jedynym sposobem, w jaki możemy się uchronić przed tego rodzaju klęskami, jest przeprowadzka do wyżej położonych miejsc – może wręcz do miast powietrznych. Myśl ta wydawała mi się kusząca, kiedy siedziałem na swojej podniebnej grzędzie w samolocie i niczym wszechmocne bóstwo, sącząc wodę, podziwiałem rozległy Atlantyk. Trwał spokojny, jasny dzień, a ocean wydawał się niemal niewinny.

Nagle poczułem szarpnięcie i samolot gwałtownie opadł, by sekundę później wyrównać lot. Po chwili nadszedł kolejny wstrząs, tym razem tak gwałtowny, że woda wystrzeliła mi z butelki na spodnie.

– Przelatujemy przez obszar turbulencji – powiedział kapitan przez interkom. – Włączam kontrolkę nakazującą zapięcie pasów i proszę wszystkich pasażerów o powrót na miejsca. Obsługa zostanie wznowiona za kilka minut, gdy wstrząsy ustąpią.

Samolot znów gwałtownie opadł. Poczułem, jak zaciska mi się żołądek, a zerkając przez okno, ujrzałem gwałtownie dygoczące skrzydło.

Kleista

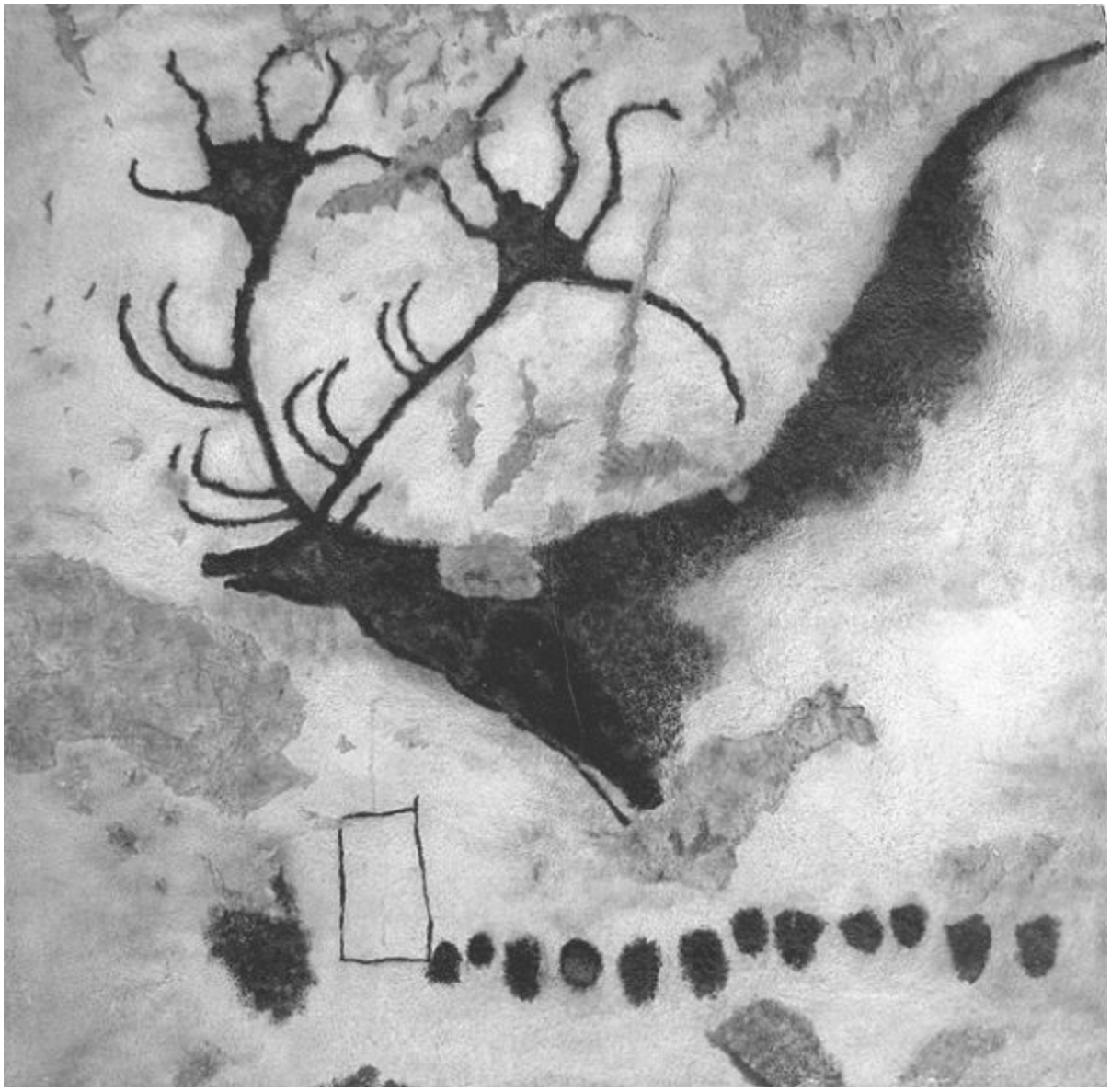
Nieważne, ile razy w życiu doświadczałem turbulencji w samolocie, zawsze w takiej chwili w moim umyśle powstawał zalążek paniki. Wiem przecież, że skrzydła nie odpadną – lecieliśmy jednym z najbardziej zaawansowanych technicznie samolotów pasażerskich w dziejach. Odwiedziłem nawet fabrykę, w której sklejano skrzydła, i przyglądałem się mechanicznym testom wytrzymałościowym. Mimo to moje ogarnięte paniką neurony ignorowały racjonalną część umysłu. Wiem, że nie tylko ja czasem tak się czuję. Z biegiem lat nauczyłem się nie rozmawiać z pasażerami o klejeniu samolotów – większości z nich wcale to nie uspokaja.

Wiele cieczy jest lepkich, co oznacza, że przywierają do włożonego w nie palca. Olej, woda, mydło czy miód kleją się do ciała. Na szczęście do innych rzeczy przyklejają się jeszcze lepiej, dzięki czemu możemy się wytrzeć ręcznikiem. Gdy bierzemy prysznic, woda ścieka po ciele i przyczepia się do skóry, zamiast się od niej odbijać, dzięki czemu omywa krzywizny piersi, brzucha i pośladków wbrew sile ciążenia. To przywieranie wynika z niskiego napięcia powierzchniowego powstającego między wodą a skórą. Gdy woda styka się z włóknami ręcznika, zachowują się one podobnie jak knot świecy, który „zasysa" stopiony wosk, i odciągają ciecz z powierzchni skóry. Wówczas skóra staje się sucha, a ręcznik robi się wilgotny. „Kleistość" nie jest więc niezmienną właściwością danej cieczy, lecz określa jej zachowanie w zetknięciu z rozmaitymi materiałami.

To, że coś jest kleiste, nie znaczy jeszcze, że może zostać użyte do

sklejenia samolotu. Do poślinionego palca można przykleić pyłek kurzu, który będzie się trzymał skóry tak długo, aż wilgoć wyparuje. Ponieważ woda traci kleistość po odparowaniu, nie używa się jej jako kleju. Kleje zaczynają jako ciecze, po czym, ogólnie rzecz biorąc, przeobrażają się w ciało stałe i tworzą trwałe połącznie między materiałami.

Ludzkość eksperymentowała z tym procesem od bardzo dawna. Nasi prehistoryczni przodkowie wyrabiali pigmenty ze sproszkowanego węgla lub barwnych minerałów, takich jak ceglastoczerwona ochra, za pomocą których pokrywali ściany jaskiń malowidłami. Aby barwniki przywierały do ścian, mieszali je z różnymi kleistymi substancjami – tłuszczami, woskiem lub jajami – i w ten sposób wynaleźli farby. Farba to w gruncie rzeczy zabarwiony klej, a jej najwcześniejsze odmiany były tak odporne, że przetrwały milenia. Jedne z najstarszych malowideł naskalnych znajdują się we francuskich jaskiniach Lascaux – ich wiek szacuje się na 20 tysięcy lat.

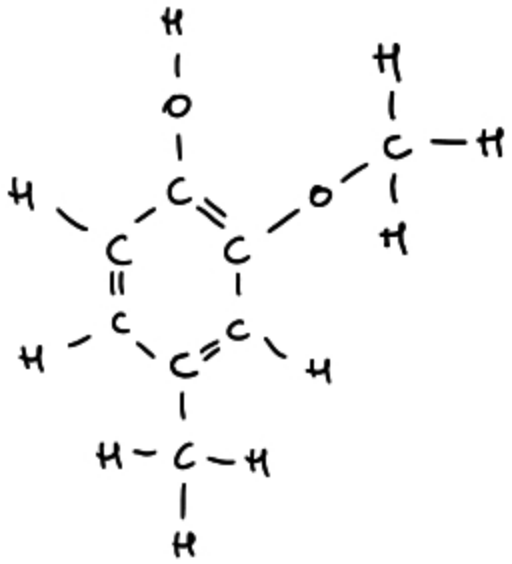


Wykonany węglem drzewnym i ochrą pradawny malunek naskalny przedstawiający jelenia olbrzymiego (kompleks jaskiń Lascaux we Francji)

Kultury plemienne od dawna stosowały kleiste, kolorowe substancje do barwienia twarzy podczas świętych obrzędów lub walk. W dzisiejszych czasach tę tradycję kontynuuje przemysł kosmetyczny. Szminka jest na przykład wykonana z pigmentów wymieszanych z olejami i tłuszczami, dzięki czemu przywiera do warg. Stworzenie

kleju, który pozostanie na ustach przez wiele godzin, lecz pod koniec dnia da się łatwo zetrzeć, długo nastręczało kłopotów. To samo z eyelinerem i wszystkimi innymi kosmetykami do makijażu. Obrazuje to dobrze jeden z istotnych problemów branży klejarskiej – otóż rozklejanie bywa czasem równie ważne jak sklejanie. Później omówimy ten temat szerzej, gdyż na początek samo klejenie jest już dość skomplikowane. Jeśli chcemy skleić dwie rzeczy, na które będzie oddziaływać siła mechaniczna – takie jak części topora, łodzi czy samolotu – potrzebujemy czegoś znacznie mocniejszego niż farba czy szminka.

Latem 1991 roku podczas wędrówki we włoskich Alpach dwoje niemieckich turystów odkryło szczątki człowieka. Okazało się, że zmumifikowane zwłoki mają 5000 lat. Nieboszczykowi nadano przydomek Ötzi. Jego ciało zachowało się wyjątkowo dobrze, gdyż po śmierci zostało, wraz z odzieniem i narzędziami, skute lodem. Człowiek ten nosił okrycie z plecionej trawy oraz wykonane ze skóry buty, getry, płaszcz, pas i przepaskę biodrową. Wszystkie narzędzia, które posiadał, zaprojektowano wyjątkowo pomysłowo, lecz najciekawszy z nich – z punktu widzenia techniki klejenia – był toporek. Trzonek wykonano z drewna cisowego, a obuch z miedzi, oba elementy połączono zaś za pomocą pasków skóry i smoły brzozowej. Tę gumowatą substancję wytwarza się przez podgrzanie kory brzozowej w garnku. W okresie późnego paleolitu i mezolitu ta czarnobrązowa maź była powszechnie stosowana jako klej. Dobrze sprawdzała się przy klejeniu ciężkich narzędzi, takich jak siekiery, ponieważ po zaschnięciu zamienia się w twardą, solidną masę. Nasi przodkowie przyklejali nią groty strzał i lotki czy ostrza krzemiennych noży, naprawiali ceramikę oraz uszczelniali łodzie. Ciecz ta w większości składa się z cząsteczek zaliczanych do rodziny fenoli.



Budowa cząsteczki 2-metoksy-4-metylofenolu – jednego ze składników kleju z kory brzozowej. Zawiera sześciokątny atom węgla i atomy wodoru przyłączone do grupy hydroksylowej –OH (znak rozpoznawczy fenoli)

Ich nazwa może się wydawać egzotyczna, ale na pewno poznacie je po zapachu: głównym fenolem zawartym w kleju z kory brzozowej jest 2-metoksy-4-metylofenol, który wydziela smolisty odór kreozotu. Aldehyd fenolowy pachnie wanilią. Fenol etylowy ma zapach wędzonego boczku. To właśnie fenole nadają specyficzny smak wędzonym rybom czy mięsu.

Podczas podgrzewania kory brzozowej otrzymujemy fenole. Powstający wówczas gęsty dziegieć jest, ogólnie rzecz biorąc, mieszaniną rozpuszczalnika zwanego terpentyną i fenoli. Terpentyna stanowi podstawę cieczy, lecz w ciągu kilku tygodni wyparowuje. Pozostaje

wówczas mieszanka samych fenoli, które z postaci ciekłej przeobrażają się w litą smołę, dość twardą, by złączyć drewno ze skórą, a także inne materiały.

Jak się okazuje, drzewa są pierwszorzędnymi producentami lepkich cieczy. Sosny wydzielają krople żywicy, które także nadają się na klej. Gumę arabską – spoiwo znane od tysiąca lat – wyrabia się z akacji senegalskiej. Żywicę kadzidłowca – olibanum – stosuje się do wytwarzania wyjątkowo ładnie pachnącego kleju. Mirra, kolejna aromatyczna żywica, pochodzi z ciernistego drzewa zwanego balsamowcem. Z żywic produkowano także lekarstwa i perfumy – być może dlatego, że ich aktywne składniki chemiczne, takie jak fenole, wykazują silne działanie antybakteryjne. Olibanum i mirra miały w czasach starożytnych tak wielką wartość, że ofiarowywano je jako dary królowym, królom i cesarzom. To dlatego odgrywają tak ważną rolę w chrześcijańskiej historii o narodzeniu Jezusa.

Mrówka uwięziona w bursztynie, skamieniałym kawałku żywicy drzewnej

Żywice drzewne nieprzypadkowo są kleiste. Drzewa wyewoluowały w ten sposób, by za ich pomocą więzić owady i skutecznie się chronić. Bursztyn to skamieniała żywica drzewna – w jego fragmentach można czasem znaleźć doskonale zachowane owady i kawałeczki kory.

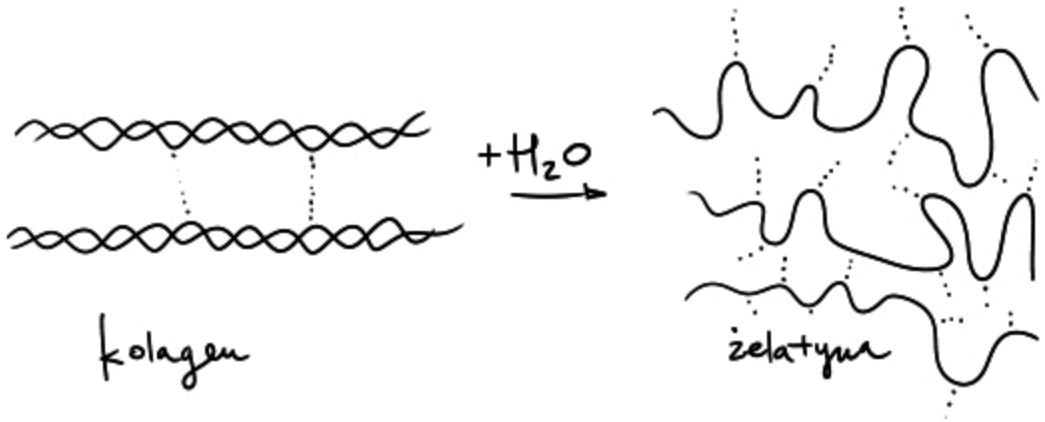
Bez żywic drzewnych naszym najdawniejszym przodkom byłoby

bardzo trudno wyrabiać narzędzia, co zahamowałoby rozwój cywilizacji. Nie chcielibyśmy jednak, by za ich pomocą klejono samoloty, ponieważ w powietrzu na pewno by się rozpadały. Molekuły fenoli nie wiążą się bowiem zbyt silnie z innymi substancjami – zbyt mocno przylegają do siebie, zadowolone z własnego towarzystwa.

Kiedy jednak pojedziecie do lasu, nie będziecie musieli szukać daleko, by natknąć się na niezwykle silne kleje. Spójrzcie na skrzydła ptaków: nie są przecież nijak przydrutowane czy przykręcone. Ich mięśnie, więzadła i skórę spajają cząsteczki z rodziny zwanej proteinami lub białkami. To samo dotyczy naszych tkanek. Jednym z najmocniejszych białek jest kolagen, który znajduje się w ciałach wszystkich zwierząt i dość łatwo go pozyskać. Pierwsi ludzie wyrabiali go ze skór ryb i zwierząt łownych, gotując je w wodzie po oddzieleniu tłuszczu. W ten sposób powstawał gęsty, przejrzysty płyn, który po ochłodzeniu przekształcał się w spójny, twardy materiał: żelatynę.

Białka kolagenowe w żelatynie są długimi cząsteczkami o szkielecie złożonym z węgla i azotu. W organizmach zwierząt molekuły te łączą się, tworząc mocne fibryle, które występują w naszych ścięgnach, skórze, mięśniach i chrząstkach. W reakcji z gorącą wodą podczas wytwarzania kleju ulegają jednak rozdzieleniu. W ten sposób zyskują wolne wiązania chemiczne, które muszą jakoś zagospodarować. Innymi słowy, chcą się do czegoś przyczepić. Tak powstaje odzwierzęcy klej żelatynowy.

W technice dawnych ludzi to właśnie kleje odzwierzęce zastąpiły żywice drzewne. Na przykład Egipcjanie używali ich do wyrobu mebli i dekoracyjnych intarsji. To zresztą prawdopodobnie oni wykorzystali klej do rozwiązania jednego z głównych problemów mechaniki drewna, a mianowicie tego, że drzewo ma słoje.



Przekształcanie się struktury włókien kolagenowych w odzwierzęcy klej żelatynowy

Chropowatość drewna zależy od gęstości i układu włókien celulozowych. Cechy te mają związek nie tylko z zachodzącymi w drzewie procesami biologicznymi, lecz także ze środowiskiem, w jakim ono wzrasta. Każdy gatunek, a nawet każde konkretne drzewo, ma specyficzny rozkład włókien. Drewno jest mocne w linii prostopadłej do ich przebiegu, lecz często rozszczepia się w linii wzdłużnej. Cecha ta przydaje się, gdy rąbiemy pniaki na opał, lecz podczas budowy domu, krzesła, skrzypiec, samolotu czy niemal każdej innej drewnianej rzeczy staje się sporym wyzwaniem projektowym. Im cieńszy kawałek drewna, tym większa jest jego skłonność do rozszczepiania się. Paradoksalnie, rozwiązanie tego problemu polega na pocięciu go na jeszcze cieńsze plasterki zwane fornirem.

Wynaleźli go prawdopodobnie Egipcjanie. Układali kolejne warstwy forniru z włóknami obróconymi naprzemiennie o 90 stopni, tworząc materiał nazywany dziś sklejką – sztuczny kawałek drewna

równie odporny na nacisk z każdej strony. Do łączenia jej warstw starożytni używali klejów odzwierzęcych, które całkiem nieźle się sprawdzały w tej roli. Jeśli gotowaliście kiedyś żelatynę, wiecie jednak, że rozpuszcza się ona w gorącej wodzie. Meble sklejone substancjami wykonanymi na jej bazie rozpadną się, jeśli nie będą absolutnie suche. Wydaje się to sporą wadą, ale Egipt jest ogólnie suchym krajem, więc jakoś sobie radzili.

Ponadto, jak wspomniałem wcześniej, klej, który można rozkleić, ma także ogromne zalety. Projektanci klasycznych instrumentów, tacy jak Antonio Stradivari, uważany za największego lutnika wszech czasów, używali klejów odzwierzęcych do budowy skrzypiec. Pozwalało im to na korygowanie błędów w łączeniu kawałków drewna, co ułatwiało wyrób instrumentów niemal doskonałych. Dziś, by naprawić drewniany instrument, rzemieślnicy rozdzielają spojenia za pomocą pary wodnej. Łączenie najpierw słabnie, a później klej się rozpuszcza. Drewno pozostaje nieuszkodzone i czyste, co przedłuża czas życia instrumentu i zwiększa jego wartość. Większość restauratorów mebli używa klejów odzwierzęcych właśnie dlatego, że można je łatwo rozpuścić przez rozgrzanie.

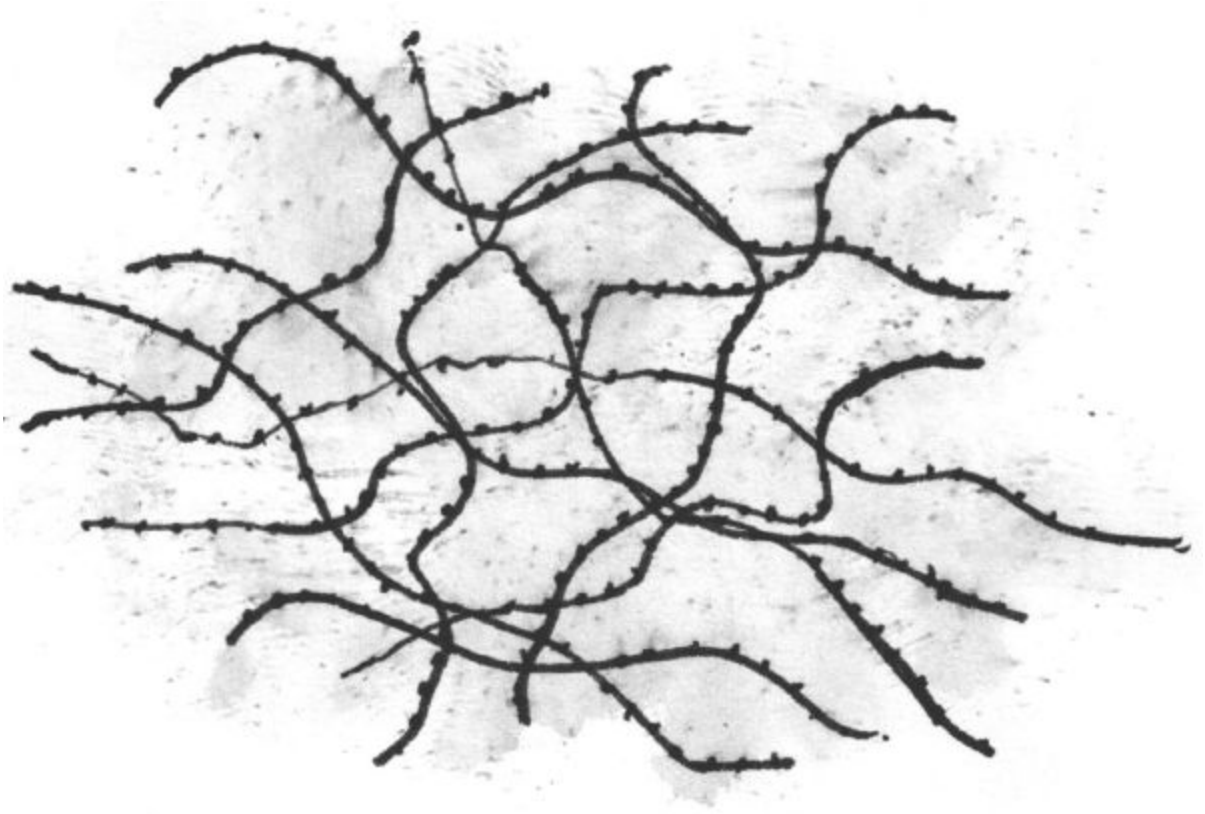
Przy wytwarzaniu skrzydeł temperatura może stanowić jednak spory problem, a przynajmniej tak mówi mitologia. Spójrzcie tylko, co spotkało króla Minosa, władcę Krety, któremu bóg mórz Posejdon podarował pięknego, śnieżnobiałego byka. Minos został pouczony, by poświęcić zwierzę w ofierze dla Posejdona, lecz na ofiarę wybrał innego, nie tak pięknego byka. Za karę bóg rozkochał w białym buhaju żonę króla, która urodziła Minotaura – pół człowieka, pół byka. Minotaur wyrósł na pożerającego ludzi potwora, więc król Minos rozkazał swojemu architektowi Dedalowi stworzyć dla niego więzienie w po-

staci skomplikowanej sieci korytarzy, zwane Labiryntem. By architekt nigdy nie zdradził sekretu mieszkańca więzienia, Minos zamknął go wraz z jego synem Ikarem w wieży. Dedala jednak nie tak łatwo było uwięzić. Skonstruował skrzydła ze sklejonych woskiem piór: jedną parę dla siebie, drugą dla Ikara. W dniu ucieczki ojciec ostrzegł syna, by nie zbliżał się zanadto do słońca. Lecz podczas lotu rozentuzjazmowany Ikar zaczął się wznosić coraz wyżej. Wosk się stopił, pióra rozkleiły i młodzieniec runął ku śmierci.

Jeśli się zastanawiacie, czy nowoczesny samolot mógłby się rozkleić, gdyby wzleciał zbyt wysoko, spieszę poinformować, że mit o Ikarze przeczy logice. Wraz z nabieraniem wysokości Ikarowi byłoby coraz zimniej, a nie coraz cieplej. Temperatura spada o 1°C co każde kolejne 200 metrów, ponieważ atmosfera wychładza się wskutek wypromieniowywania ciepła w przestrzeń kosmiczną. Na 12 kilometrach – wysokości, na której się znajdowałem – za oknem było około –50°C, a w tak niskiej temperaturze wosk nie topnieje.

Powinienem tu pewnie także zaznaczyć, że współczesnych samolotów nie klei się woskiem – znamy dziś dużo lepsze spoiwa. Intelektualna podróż do ich wynalezienia zaczyna się od gumy. To, rzecz jasna, kolejny lepki wytwór drzew. Pozyskuje się ją, nacinając korę kauczukowca, drzewa rosnącego w Ameryce Południowej i Środkowej. Kultury mezoamerykańskie wyrabiały z niej wiele przedmiotów, w tym elastyczne piłki używane w grach obrzędowych. Gdy europejscy odkrywcy przybyli do Ameryki w XV wieku, byli zdumieni właściwościami gumy. Nigdy wcześniej nie widzieli niczego podobnego. Była miękka i sprężysta jak skóra, lecz znacznie bardziej elastyczna i całkowicie odporna na wodę. Pomimo jej ewidentnej wielkiej wartości żaden Europejczyk nie potrafił jednak znaleźć dla niej bezpośrednie-

go, opłacalnego zastosowania. Dopiero brytyjski naukowiec Joseph Priestley odkrył, że można nią zmazywać ślady ołówka z papieru, dlatego zaczęto ją nazywać gumką do mazania.



Struktura gumy naturalnej, składającej się z plątaniny długich cząsteczek poliizoprenu

Naturalna guma składa się z tysięcy małych molekuł izoprenu związanych w długi łańcuch. Natura często posługuje się sztuczką polegającą na łączeniu fragmentów jednego związku chemicznego, by otrzymać zupełnie inny. Tego rodzaju cząsteczki nazywamy polimerami – *polys* znaczy w grece „wiele", a *meros* – „część". Izopren jest „merem" w naturalnej gumie. Długie łańcuchy poliizoprenowe są w niej wymieszane jak spaghetti, a ponieważ łączą je słabe wiązania,

przy próbie rozciągnięcia po prostu się rozprostowują. Ta właściwość gumy odpowiada nie tylko za jej rozciągliwość, lecz także lepkość.

Guma może przybierać różne kształty i wcisnąć się w różne szczeliny, w tym załamania dłoni, dlatego daje tak pewny chwyt. Doskonale sprawdza się przy wyrobie uchwytów rowerowych albo opon – przytrzymuje samochód na drodze z siłą wystarczającą do wygenerowania tarcia, bez którego pojazd nie mógłby poruszać się naprzód, lecz nie na tyle dużą, by przytwierdzić go trwale do podłoża. Na podobnej zasadzie uchwyty na kierownicy dają mocne oparcie dłoniom i zapobiegają ich przypadkowemu ześlizgnięciu się, lecz nie trzeba się martwić o sklejenie z rowerem na zawsze.

Do niedocenianych, lecz najgenialniejszych zastosowań gumy należą samoprzylepne karteczki do notatek. Są one pokryte lepką gumową warstwą, która pozostaje na kartce po odczepieniu od bloczka, dzięki czemu można taką kartkę przytwierdzić do ściany, stołu, monitora, książki i tak dalej, nie uszkadzając ani nie brudząc powierzchni. Mikroskopijne kuleczki gumy, z jakich składa się klej na karteczce, mocno do niej przylegają, ale gdy przycisnąć je do innej powierzchni, wytwarzają jedynie niewielką siłę przyczepności. To dlatego po odklejeniu notatki guma pozostaje na karteczce i można ją przyczepić w innym miejscu lub ponownie wykorzystać. Genialne? Co ciekawe, ten niezbyt mocny klej został wynaleziony zupełnym przypadkiem w 1968 roku przez doktora Spencera Silvera, chemika z firmy 3M, podczas prób stworzenia supersilnego spoiwa.

W XX wieku powstało także wiele innych produktów klejących, które miały ogromny wpływ na kulturę. Jednym z najważniejszych była taśma klejąca, wynaleziona w 1925 roku przez innego pracownika 3M, Richarda Drewa. Składała się z trzech zasadniczych warstw.

Środkową wykonano z celofanu, czyli plastiku z pulpy drzewnej, nadającego taśmie wytrzymałość i przezroczystość. Dolną wykonano z kleju, górną zaś, najważniejszą – z tworzywa nieklejącego się, takiego jak teflon, który w zetknięciu z innymi materiałami wytwarza wysokie napięcie powierzchniowe i nie daje się łatwo zwilżyć (to dlatego używa się go w produkcji nieprzywierających patelni). Wykorzystanie teflonu do wyrobu taśmy jest wręcz genialnym posunięciem – nawet jeśli jeden kawałek naklei się na drugi, nie przywrze trwale, dzięki czemu taśmę można sprzedawać w rolkach. Czym byłby dom bez rolki? Albo, jak w moim przypadku, dziesięciu?

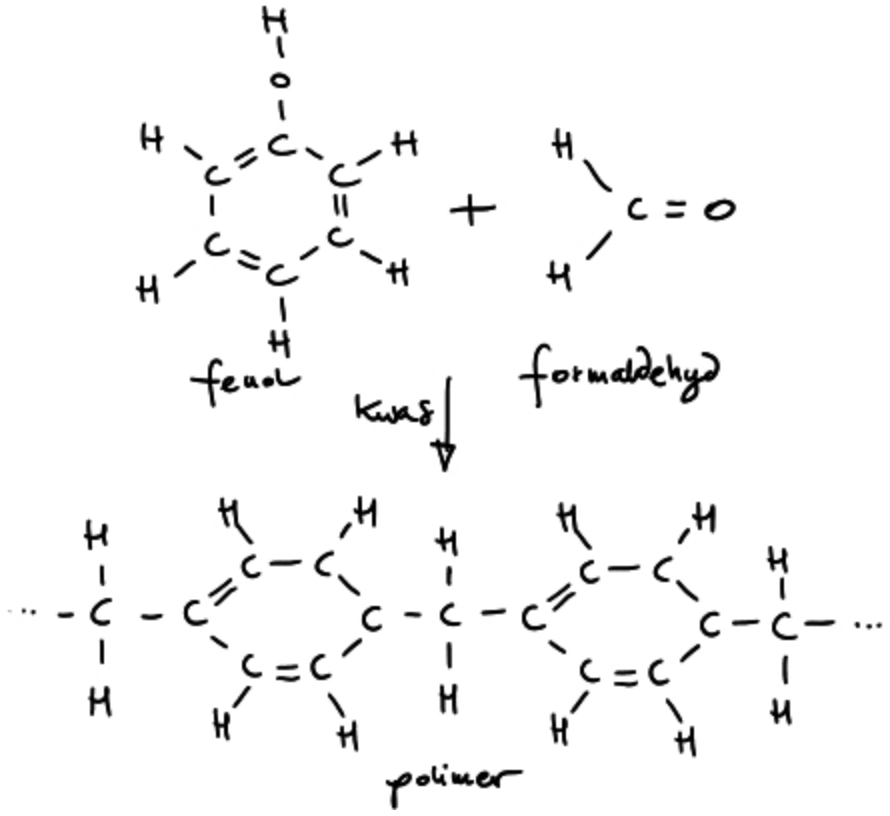
Od razu się przyznam, że należę do grona tych, którzy próbują ją odrywać, zamiast odcinać. Poproście mnie o kawałek taśmy, a ja z entuzjazmem chwycę rolkę i będę próbował go oderwać. Zapewne za pierwszym razem mi się to nie uda. Poplączę kilka kawałków oderwanych pod jakimś wariackim kątem albo przypadkiem zetknę z sobą fragmenty klejącą stroną. Nie jestem z tego dumny; prawdę mówiąc – doprowadza mnie to do szału. Coraz bardziej irytuję się na taśmę, a ona w odpowiedzi kpi ze mnie, przyklejając się z powrotem do rolki tak ściśle, że nie potrafię odnaleźć końcówki. Próbuję ją wówczas wyczuć dotykiem opuszki. Czasem trwa to tak długo, że zaczynam krzyczeć na taśmę. W końcu rzucam nią o ścianę, zastanawiając się, dlaczego wciąż nie sprawiłem sobie biurowego podajnika.

Taśmy materiałowe znacznie lepiej pasują do mojego temperamentu. Są tak pomyślane, by dało się oderwać kawałek bez użycia nożyczek. Włókna wzmacniającego je materiału biegną w poprzek szerokości rolki, co ułatwia sprawę. Tkanina nadaje taśmie moc, a plastik i klej – kleistość i rozciągliwość. Tak bardzo uwielbiam ten rodzaj taśmy, że zazdroszczę ludziom, którzy w pracy zawsze noszą rolkę

przy pasku. Z tą myślą zerknąłem na Susan, która wciąż oglądała film, i zacząłem się zastanawiać, jaką taśmę klejącą lubi najbardziej. Na stoliku przed nią leżała książka Oscara Wilde'a *Portret Doriana Graya*. Zauważyłem, że jej grzbiet naprawiono przy użyciu czerwonej taśmy izolacyjnej, której końcówki równo przycięto nożyczkami. A więc to taka osoba.

Choć taśma klejąca, którą wymyślił Richard Drew, jest bardzo pożyteczna, to nie wykorzystuje się jej do konstrukcji współczesnego samolotu. Osiągnięcia na tym polu zawdzięczamy belgijsko-amerykańskiemu chemikowi Leo Baekelandowi, który stworzył jeden z pierwszych rodzajów plastiku. Zmieszał on dwie ciecze: jedną opartą na fenolach, głównym składniku żywicy brzozowej, drugą zaś na formaldehydzie, czyli płynie do balsamowania zwłok. Oba te płyny, reagując z sobą, wytwarzają nowe cząsteczki o jednym wolnym wiązaniu, do którego może się przyłączyć dodatkowy fenol, i ostatecznie (o ile dobierze się właściwe proporcje) mieszanina zamienia się w ciało stałe. Innymi słowy – powstaje jedna gigantyczna cząsteczka, w której wszystkie wiązania zostają zagospodarowane, dzięki czemu wytworzony przedmiot jest twardy i mocny.

Baekeland użył tego nowego plastiku – bakelitu – do produkcji wielu przedmiotów, takich jak aparaty telefoniczne, co zrewolucjonizowało wynalezioną nieco wcześniej łączność telefoniczną. Nowy materiał zyskał szerokie zastosowanie i przyniósł Baekelandowi fortunę. Miał jednak jeszcze jedną właściwość. Chemicy odkryli, że fenol i formaldehyd można po zmieszaniu zastosować jako twardniejący klej. Tak powstała cała nowa rodzina klejów dwuskładnikowych, silniejszych niż wszystkie inne, które dotąd wynaleziono.



Powstawanie mocnego spoiwa przez połączenie dwóch cieczy: fenolu i formaldehydu

Im szerzej stosowano tego typu spoiwa, tym wyraźniej zdawano sobie sprawę z ich wielkiej użyteczności. Po pierwsze, oba składniki – fenol i formaldehyd – można przechowywać w oddzielnych pojemnikach, gdzie pozostają w postaci płynnej aż do momentu użycia. Po drugie, można zmieniać ich skład chemiczny przez dodawanie różnych substancji, dzięki czemu lepiej lub gorzej nawilżają i sklejają różne materiały, na przykład metale czy drewno.

Ten nowy rodzaj kleju wzbudził wielkie zainteresowanie inżynierów. Przypomnieli sobie o zastosowanej po raz pierwszy przez Egipcjan sklejce. Jeśli wykonać ją przy użyciu kleju dwuskładnikowego opracowanego specjalnie pod kątem łączenia drewna, nie będzie ona

zdana na łaskę słabych wiązań klejów odzwierzęcych ani wrażliwa na wodę. Lecz by taka nowa sklejka się upowszechniła, konieczny był duży popyt rynkowy. Zapewnił go rozwój przemysłu lotniczego. Na początku XX wieku większość kadłubów samolotów wykonywano z drewna, były więc podatne na pękanie wzdłuż linii włókien. Sklejka okazała się znakomitym rozwiązaniem tego problemu – można jej było nadawać aerodynamiczne kształty, a dzięki klejom dwuskładnikowym pozostawała trwała i odporna.

Wykonany ze sklejki bombowiec de Havilland Mosquito

Najsłynniejszym samolotem ze sklejki był bombowiec de Havilland Mosquito. Wprowadzono go do użytku podczas drugiej wojny świato-

wej jako najszybszy wówczas samolot. Ponieważ mógł wymanewrować wszystkie inne samoloty, nie wyposażono go w karabiny maszynowe do obrony. Do dzisiaj pozostaje prawdopodobnie najpiękniejszym przedmiotem ze sklejki, jaki kiedykolwiek powstał. Swą elegancką, piękną linię zawdzięcza temu, że sklejkę można uformować w skomplikowane kształty, zanim klej zwiąże. Z tego powodu projektanci chętnie stosowali ją przez wiele dekad.

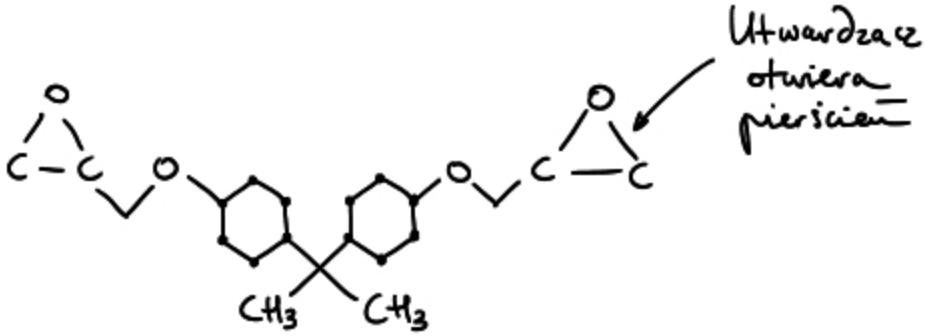
Po wojnie sklejka nadal rewolucjonizowała nasz świat, tym razem w sektorze meblarskim. Charles i Ray Eamesowie, należący do grona najbardziej innowacyjnych projektantów ówczesnej doby, wykorzystali ten materiał, by całkowicie odświeżyć formy drewnianych mebli. Ich projekty uznaje się dziś za klasyczne – zwłaszcza tak zwane krzesło Eamesów. Wciąż są produkowane i naśladowane – wystarczy wejść do dowolnej kawiarni lub klasy szkolnej, by się o tym przekonać. W meblarstwie pojawiały się i zanikały kolejne mody, lecz sklejka zawsze była popularna.

Zaprojektowane przez Charlesa i Ray Eamesów krzesło ze sklejki

O ile jednak sklejkowe meble przetrwały próbę czasu, o tyle inżynieria lotnicza poszła naprzód. Po wojnie miejsce podstawowego budulca samolotów zajęły stopy aluminium. Nie stało się tak dlatego, że były mocniejsze czy nawet sztywniejsze od sklejki. Formy aluminiowe wygrały, ponieważ można je było łatwiej produkować, uszczelniać i

atestować, zwłaszcza gdy samoloty stały się większe i zaczęły latać na coraz wyższych pułapach. Bardzo trudno zabezpieczyć sklejkę przed chłonięciem wody lub rozsychaniem. Wykonane z niej samoloty szybko by wyschły w suchym klimacie – materiał skurczyłby się, wywierając znaczny nacisk na spojenia. Z kolei w bardzo wilgotnych warunkach sklejka się rozszerza (a nawet gnije), co także zagraża bezpieczeństwu lotu.

Aluminium nie ma tego rodzaju wad. Jest wręcz niewiarygodnie odporne na korozję i dlatego zajęło naczelne miejsce w inżynierii lotniczej na kolejne pięćdziesiąt lat. Z pewnością nie można go nazwać materiałem doskonałym – nie jest dość sztywne ani mocne, by można było wyprodukować zeń prawdziwie lekki, oszczędzający paliwo samolot. Kiedy popularność aluminium w przemyśle lotniczym sięgnęła zenitu, następne pokolenie inżynierów zachodziło w głowę, poszukując idealnego tworzywa na poszycia statków powietrznych. Zastanawiali się, czy najlepiej będzie użyć jakiegoś innego metalu, czy może całkiem odmiennego tworzywa. Obiecujące wydawały się włókna węglowe, ponieważ cechują się dziesięciokrotnie większą sztywnością w jednostce masy niż stal, aluminium lub sklejka. Są jednak materiałem tekstylnym i w owych czasach nikt nie potrafił wykonać z nich skrzydeł.



Pierścień cząsteczki epoksydu zostaje otwarty przez utwardzacz, dzięki czemu powstaje klej polimerowy

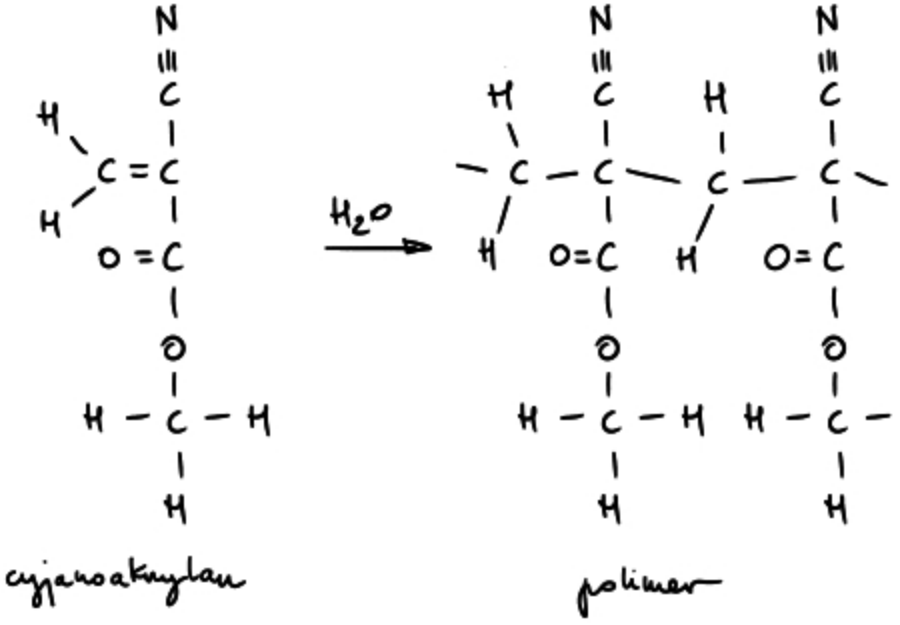
Odpowiedzią na ten problem okazał się klej epoksydowy. To kolejna dwuskładnikowa substancja, lecz jej szkielet zawsze stanowi pojedyncza molekuła zwana epoksydem.

W centrum cząsteczki epoksydu znajduje się pierścień złożony z dwóch atomów węgla połączonych z jednym atomem tlenu. Przerwanie ich wiązań pozwala otworzyć pierścień, dzięki czemu epoksyd wchodzi w reakcję z innymi molekułami, tworząc mocne ciało stałe. Ta utwardzająca reakcja zaczyna się dopiero po zerwaniu wiązań między węglem i tlenem, co najczęściej osiąga się przez dodanie tak zwanego utwardzacza.

Do największych zalet klejów epoksydowych zalicza się to, że wystąpienie reakcji zależy od temperatury. Składniki kleju nawet po zmieszaniu nie zaczną wiązać, dopóki nie stworzymy odpowiednich warunków. To bardzo ważne przy budowaniu skomplikowanych,

wzmacnianych włóknami elementów skrzydła samolotu – ogromnych części, których wyprodukowanie zajmuje kilka tygodni. Gdy wszystko jest już gotowe do przeobrażenia kleju w mocne spojenie, części wkłada się do szybkowaru, podgrzewa do odpowiedniej temperatury i *voilà*! Taki szybkowar, a ściśle rzecz biorąc autoklaw, miewa wielkość samolotu. Z form użytych do wytłoczenia elementów przed podgrzaniem usuwa się całe powietrze, co pozwala rozwiązać kolejny problem, jakiego nastręczają kleje: często więzną w nich bąbelki, które po stwardnieniu spoiwa stają się jego słabymi punktami. Kolejną ważną zaletą epoksydów jest to, że są bardzo uniwersalne pod względem chemicznym. Chemicy mogą przyłączać do pierścienia epoksydowego różne komponenty, takie jak metale, ceramikę oraz – otóż to – włókna węglowe.

Być może zastanawiacie się, dlaczego żywic epoksydowych sprzedawanych w sklepach z narzędziami nie trzeba podgrzewać w autoklawie, jeśli chce się naprawić pęknięty dzbanek czy przykleić uchwyt pokrywki sokownika. Stosuje się w nich inne utwardzacze chemiczne niż te wykorzystywane przy budowie samolotu. Pomyślano je tak, by wchodziły w reakcję z cząsteczkami epoksydu w temperaturze pokojowej. Klej jest sprzedawany w dwóch opakowaniach, których zawartość trzeba wymieszać. W jednym znajduje się żywica epoksydowa, a w drugim utwardzacz wraz z różnymi substancjami przyspieszającymi reakcję i zestalanie się spoiwa. Takie domowe epoksydy nie są co prawda równie wytrzymałe jak ich podniebne odmiany, ale należą do bardzo mocnych klejów.



Cząsteczka wody otwierająca cząsteczkę cyjanoakrylanu, w wyniku czego powstaje klej polimerowy

Może to wszystko brzmi prosto, lecz zanim zaufano włóknom węglowym na tyle, by wykorzystać je przy budowie samolotów, minęło wiele dekad rozwoju wiedzy i technologii struktur kompozytowych. Pierwsze kompozyty tego rodzaju przetestowano na lądzie w samochodach wyścigowych – okazały się bardzo dobrym rozwiązaniem. Dziś auta te mają części z włókna węglowego nawet w silnikach – tak, dobrze zgadujecie, udało się nam opracować epoksydy wytrzymałe na wysoką temperaturę. Po wyścigówkach wprowadzono kolejną wielką innowację, stosując kompozyty z włókien węglowych do wyrobu protez ortopedycznych, ponieważ kompozyty te są sztywniejsze i mocniejsze niż wiele metali, a także znacznie od nich lżejsze. Przypomi-

nające ostrza protezy, na których biegają sportowcy po amputacji dolnych części nóg, wykonane są właśnie z takiego materiału. Stosuje się go także przy produkcji rowerów – te najszybsze na świecie wykonane są z włókien węglowych klejonych epoksydami. I w końcu zrobione z nich części mają także najnowsze samoloty pasażerskie firm Boeing i Airbus, w tym ten, którym właśnie podróżowałem nad Atlantykiem.

Tak jak śruby i nity zostały w powietrzu wyparte przez kleje i spoiwa, tak w medycynie szwy i wkręty najprawdopodobniej ustąpią miejsca klejom. Gdy niedawno podczas gry w piłkę rozciąłem sobie skórę na głowie, udałem się na oddział ratunkowy z zakrwawioną, przyciśniętą do czoła chusteczką i siedziałem przez dwie godziny w poczekalni. W końcu mnie wezwano i lekarz oczyścił ranę, po czym wyjął tubkę kleju cyjanoakrylowego. Pokrył nim obie krawędzie rozciętej skóry, ścisnął je na dziesięć sekund i odesłał mnie do domu. Nie był to żaden konował, który chciał zaoszczędzić sobie czasu – zastosował po prostu standardową już dziś metodę leczniczą.

Klej cyjanoakrylowy, szerzej znany jako superglue, to bardzo dziwna ciecz. W gruncie rzeczy jest olejem i podobnie się zachowuje, jednak zawarty w nim cyjanoakrylan łatwo wchodzi w reakcję z wodą. Zostaje wówczas zerwane podwójne wiązanie w cząsteczce cyjanoakrylanu, dzięki czemu woda może wejść w reakcję z inną jego cząsteczką. Tak powstaje podwójna cząsteczka z wolnym wiązaniem, do którego może się przyłączyć coś jeszcze. W to miejsce wchodzi następna cząsteczka cyjanoakrylanu, czego rezultatem jest potrójna molekuła z kolejnym wolnym wiązaniem, która znów reaguje z wodą, i tak dalej, i tak dalej. Im dłużej trwa ta reakcja łańcuchowa, tym dłuższa i ściślej powiązana wewnętrznie cząsteczka powstaje. To na-

prawdę genialna substancja, tym bardziej że do zamienienia cienkiej warstwy cyjanoakrylowej cieczy w ciało stałe wystarczy wilgoć zawarta w powietrzu. O ile wiele spoiw traci właściwości klejące w wilgotnym środowisku, ponieważ woda nie pozwala im się przyczepić do klejonej powierzchni, o tyle superglue działa w każdych warunkach. Każdy, kto zetknął się z tą substancją, wie, jak idiotycznie łatwo jest skleić nią sobie palce. To dlatego chemicy poszukują metod na szybkie i bezproblemowe rozklejenie superkleju.

Kleje spajają dziś – poza palcami – mnóstwo rzeczy, a w przyszłości ich rola jeszcze wzrośnie, bo świetnie spełniają swoje zadanie, czego znakomitym dowodem był pędzący z prędkością 800 kilometrów na godzinę i wpadający w turbulencje samolot, w którym siedziałem. Prawdopodobnie dopiero jednak musnęliśmy powierzchnię tego, co kleje potrafią, zwłaszcza gdy wziąć pod uwagę, jak wielu mocnych, kleistych substancji używają inne żywe organizmy. Prawie nie ma dnia, by jakiś naukowiec nie odkrył nowego kleju stosowanego przez rośliny, skorupiaki czy pająki.

Zastanawiałem się nad tym, przeglądając filmy dostępne w systemie rozrywkowym samolotu, i zatrzymałem się przy tytule *Spider-Man*. „To fakt, kleistość naprawdę jest supermocą”, pomyślałem i nacisnąłem *play*.

Fantastyczna

Zasunąłem roletę w oknie, by nie wpuszczać światła słonecznego. Zawsze wyczuwam pewien paradoks w tym geście. W Londynie nie ma dnia, bym nie marzył o baraszkowaniu wśród nieustannie zwieszających się nad miastem szarych chmur i wygrzewaniu się w blasku słońca ponad nimi. Wystarczyło jednak, bym wzniósł się w niebo na kilka chwil, a promienie już zaczęły mi przeszkadzać, bo nie widziałem wyraźnie obrazu na monitorze. Moja sąsiadka Susan uniosła wzrok i spojrzała na mnie z ukosa, kiedy odciąłem jej dopływ światła. Podciągnąłem więc odrobinę roletę, pozwalając, by cienkie smugi wpadły do środka, po czym gestem uniesionego kciuka spytałem Susan, czy teraz jest okej. Pokiwała głową, włączyła lampkę w suficie i na powrót pogrążyła się w lekturze. Chyba ją zirytowałem.

„Gdyby tylko monitor bardziej przypominał obraz…" – pomyślałem. Obraz wykonany pigmentami, które mogą zmieniać barwę, co pozwoliłoby postaciom poruszać się jak w filmie – wówczas w ogóle nie musiałbym zasłaniać okna. W chwili gdy ta myśl przyszła mi do głowy, uświadomiłem sobie, że powieść, którą czyta Susan – *Portret Doriana Greya* – opowiada o takim właśnie obrazie. Poczułem powiew niesamowitości – rzeczywistość nawiązywała do treści książki. Oscar Wilde napisał swe dzieło w 1890 roku, mniej więcej wtedy, gdy odkryto ciekłe kryształy. Nie wiedział, że w przyszłości staną się one podstawą technologii płaskich ekranów, takich jak ten, na którym oglądałem *Spider-Mana*. Technologii, która mogłaby urzeczywistnić magiczny, mroczny obraz, stanowiący oś jego historii.

Tytułowy bohater powieści Wilde'a, Dorian Gray, przystojny, bogaty młodzieniec, zleca namalowanie własnego portretu. Podczas oglądania ukończonego dzieła uderza go myśl, że obraz, w przeciwieństwie do niego, nigdy nie zbrzydnie ani się nie zestarzeje. Myśli z goryczą:

> *Nigdy nie będzie starszy niż w dzisiejszym czerwcowym dniu. Gdybyż mogło być przeciwnie! Gdybym ja pozostał wiecznie młody, a obraz się starzał! Wszystko bym za to oddał, wszystko! Tak, nie ma nic na świecie, czego bym za to nie oddał. Oddałbym duszę własną!*

Za sprawą tajemniczej siły jego życzenie się spełnia. Gray prowadzi hedonistyczne życie, zakochany we własnym pięknie i młodości oraz w zmysłowych rozkoszach, których może zażywać. Robiąc to, niszczy jednak innych ludzi. Obraz daje mu nadnaturalną moc, lecz nie taką, jaką dysponował skaczący przede mną na ekranie Spider-Man. Człowiek Pająk ma nadludzką siłę i może przyczepiać się do budynków, a „pajęczy zmysł" pozwala mu na wykrywanie zagrożeń. Moc Doriana Graya polegała na tym, że nigdy się nie starzał i nie tracił piękna – w przeciwieństwie do jego portretu. Zerknąłem na otoczoną mrokiem Susan, która czytała powieść w kręgu światła lampki, i pomyślałem, jak trudno byłoby dziś stworzyć taki ruchomy obraz.

Moment, w którym młody Dorian Gray ogląda swój portret

Kiedy przykłada się pędzel do płótna, ciecz przywiera do materiału oraz wcześniej nałożonych warstw farby. Już nasi tworzący naskalne malowidła przodkowie zauważyli, że farba to w gruncie rzeczy zabarwiony klej. Jej funkcja polega na tym, by z cieczy przeobrazić się w ciało stałe i trwale przywrzeć do określonego miejsca. Różne rodzaje

farb realizują ten cel na różne sposoby. Akwarela schnie wskutek odparowania wody, tak że na arkuszu pozostaje wyłącznie pigment. Farba olejna składa się z oleju – głównie makowego, orzechowego lub lnianego – i nie wysycha, lecz ma innego asa w rękawie: wiąże się z obecnym w powietrzu tlenem. Zwykle staramy się nie dopuścić do tego rodzaju reakcji, ponieważ wskutek utleniania masło czy oleje spożywcze jełczeją i gorzkniejąc. W przypadku farby olejnej jest to jednak pożądane. Oleje składają się z długich cząsteczek węglowodorów. Tlen chwyta dwa atomy węgla z dwóch różnych cząsteczek i łączy je z sobą, jednocześnie umożliwiając im wchodzenie w kolejne reakcje. Innymi słowy, działa jak utwardzacz (podobną funkcję pełni woda względem superkleju). To kolejny przykład tak zwanej polimeryzacji.

Podczas tej wyjątkowo pożytecznej reakcji powstaje twarda, wodoodporna warstwa plastiku na płótnie (malarstwo olejne można by trafniej nazwać plastikowym). Jest wyjątkowo trwała i świetnie znosi upływ czasu. Polimeryzacja zachodzi jednak powoli, ponieważ tlen musi się przedostać przez stwardniałe wierzchnie warstewki, by związać cząsteczki położone głębiej. To wada farby olejnej – trzeba bardzo długo czekać, zanim zastygnie. Wielcy mistrzowie, tacy jak van Eyck, Vermeer czy Tycjan, wykorzystywali to zjawisko do własnych celów. Nakładali jedna na drugą kolejne cienkie warstwy farby, one zaś wchodziły w reakcję z tlenem i twardniały. Powstawał szereg ułożonych na sobie błon półprzejrzystego plastiku zawierających różne barwniki.

Taka technika pracy pozwala malarzowi na stworzenie cudownie zniuansowanego dzieła, ponieważ padające na płótno światło nie odbija się wyłącznie od wierzchniej warstwy, lecz w pewnym stopniu ją przenika, docierając do położonych głębiej pigmentów i barwiąc się

na różne sposoby. Może również zostać w pełni pochłonięte przez kolejne, rozmaicie zabarwione warstwy, co daje wrażenie głębokiej czerni. Ta wyrafinowana metoda malarska pozwala panować nad kolorem, lśnieniem oraz fakturą – dlatego malarze renesansu chętnie korzystali z farb olejnych. Ekspertyza *Zmartwychwstania* Tycjana wykazała, że obraz ten jest złożony z dziewięciu warstw farby, wspólnie tworzących skomplikowany efekt wizualny. Dzięki misternym środkom wyrazu, jakich dostarcza ta metoda twórcza, malarstwo renesansowe jest zmysłowe i pełne pasji. Technika nakładania kolejnych warstw – laserunek – daje tak znakomite efekty, że wykroczyła poza malarstwo olejne i dziś jest dostępna we wszystkich profesjonalnych programach graficznych. Jeśli używacie Photoshopa, Illustratora czy jakiegokolwiek innego cyfrowego narzędzia graficznego, tworzycie obrazy właśnie poprzez nakładanie kolejnych warstw.

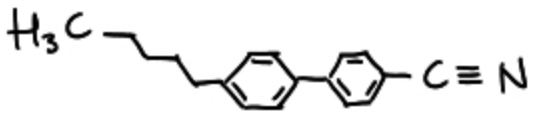
Linoryt Ruby Wright zatytułowany *Secret Lemonade Drinker*

Podobnie jak technikę laserunku, również krycie olejem lnianym wykorzystuje się w wielu sytuacjach niezwiązanych z malarstwem olejnym, takich jak zabezpieczanie drewna za pomocą przezroczystej plastikowej bariery ochronnej. Olej lniany zachowuje się więc podobnie jak farba olejna, tyle że pozbawiona barwników. Do wielu drew-

nianych przedmiotów, które się nim pokrywa, należą kije do krykieta. Można pójść jeszcze dalej i wykorzystywać sam olej, który w toku polimeryzacji przeobraża się w plastikowe tworzywo zwane linoleum. Projektanci i dekoratorzy wnętrz używają go jako wodoodpornej wykładziny lub płytek podłogowych. Artyści korzystają też z linoleum w taki sposób, w jaki klocków drewna używają drzeworytnicy: wycinają w tworzywie obrazy, a następnie wykonują z nich odbitki. Również w tym wypadku skomplikowane dzieło powstaje w wyniku nakładania warstw.

Choć malarstwo olejne czy linorytnictwo pozwalają tworzyć dzieła niezwykłe pod względem wizualnym, nie sposób wykonać za ich pomocą ruchomego obrazu. Jeśli jednak wykorzystać opartą na węglu cząsteczkę dość podobną do tych, jakie znaleźć można w oleju lnianym, czyli 4-cyjano-4'-pentylbifenyl, nagle staje się to możliwe.

Głównym elementem tej cząsteczki są dwa sześcienne pierścienie, dzięki którym zachowuje ona sztywną strukturę. Wiążące je elektrony nie są jednak równo rozmieszczone, jest to bowiem cząsteczka polarna. W niektórych jej miejscach koncentruje się ujemny ładunek elektryczny, w innych dodatni. Ładunki dodatnie jednej cząsteczki przyciągają ładunki ujemne drugiej, co sprawia, że molekuły układają się w sposób zorganizowany, tak jak w krysztale. Jednak w końcówce cząsteczki 4-cyjano-4'-pentylbifenylu znajduje się grupa CH_3, która jest giętka, ruchoma i przeciwdziała formowaniu się kryształu. Dlatego też struktury 4-cyjano-4'-pentylbifenylu są częściowo zorganizowane, a częściowo płynne. To tak zwane ciekłe kryształy.

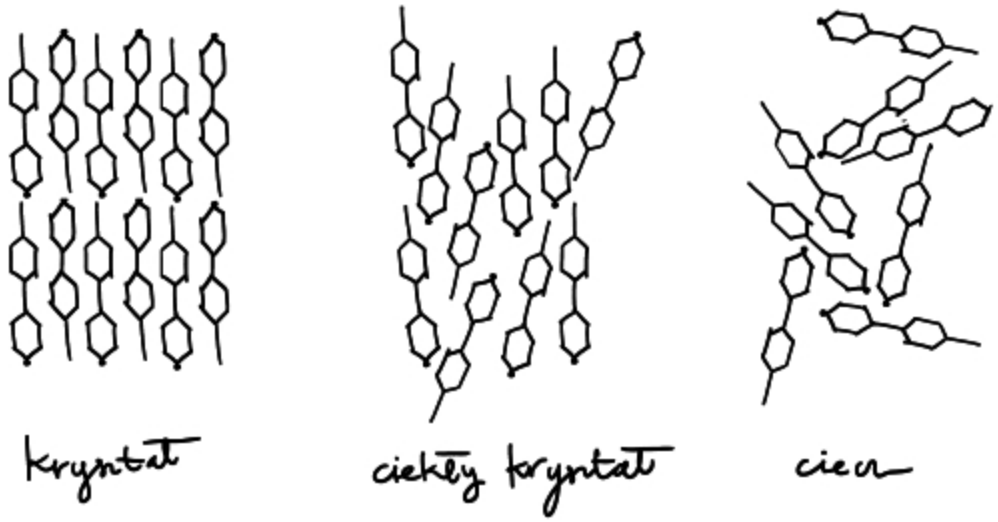


Budowa cząsteczki 4-cyjano-4'-pentylbifenylu używanego powszechnie w technologii ciekłokrystalicznej

W temperaturze powyżej 35°C wpływ grupy CH3 przeważa i związek zaczyna się zachowywać jak zwykły przejrzysty olej. Jeśli jednak schłodzić go do temperatury pokojowej, nabiera mlecznej barwy. Nie zamienia się w ciało stałe, lecz dzieje się z nim coś dziwnego: cząsteczki układają się obok siebie jak ryby w ławicy. Ciecze bardzo rzadko przybierają taką formę, atomy i cząsteczki, z których się składają, mają bowiem za dużą energię, by pozostawać w jednym miejscu przez dłuższy czas, dlatego nieustannie się obracają, wibrują i przemieszczają. Ciekłe kryształy są inne – ich cząsteczki cechują się dużą dynamiką i płynnością, lecz poruszają się w sposób zorganizowany, jak atomy w krysztale. Stąd wzięła się ich nazwa.

Ta organizacja nie jest doskonała. Ponieważ cząsteczki pozostają w stanie ciekłym, nieustannie się poruszają, zamieniają miejscami lub przyłączają do innych ławic. Polarność nadaje jednak ciekłym kryształom jeszcze jedną użyteczną cechę: stają się wrażliwe na pole elektryczne i pod jego wpływem zmieniają orientację. Po przyłożeniu napięcia elektrycznego cała ławica może się zwrócić w określonym kie-

runku. Dzięki tej właściwości ciekłe kryształy znalazły zastosowanie w urządzeniach elektronicznych, odnosząc technologiczny sukces.



Różnice w strukturze kryształu, ciekłego kryształu i cieczy

Kiedy światło przemieszcza się w ciekłym krysztale, podlega subtelnej reorientacji, a mianowicie zmienia się jego polaryzacja. By zrozumieć to zjawisko, wyobraźmy sobie światło jako falę oscylujących pól elektrycznych i magnetycznych. W jakim kierunku mają oscylować? W górę i w dół, po skosie, z prawa na lewo? Światło słoneczne oscyluje we wszystkich tych kierunkach. Powierzchnia, od której się odbije, będzie sprzyjać jednym oscylacjom, a tłumić inne – zależnie od jej rodzaju. Światło odbite będzie więc oscylować już tylko w niektórych kierunkach. Stanie się światłem spolaryzowanym.

Zjawisko to zachodzi nie tylko podczas odbicia światła. Niektóre przezroczyste materiały – na przykład okulary przeciwsłoneczne z filtrem polaryzacyjnym – także zmieniają polaryzację światła. Ich szkła przepuszczają wyłącznie światło o określonych oscylacjach. Oczywiście zmniejsza się wówczas intensywność rażącego oczy blasku, a otoczenie wydaje się ciemniejsze, co jest szczególnie pożądane na plaży, tym bardziej że okulary projektuje się w taki sposób, by za pomocą polaryzacji stłumić światło odbite od lustra wody. Rybacy używają okularów z filtrem polaryzacyjnym, by lepiej widzieć, co dzieje się pod wodą, a fotografowie stosują polaryzacyjne filtry do obiektywów w celu wyeliminowania odblasków ze zdjęć.

Niektóre pająki potrafią wykryć światło spolaryzowane. Zastanawiałem się, czy umiejętność ta nie wchodzi w skład „pajęczego zmysłu" Spider-Mana, umożliwiając mu szybsze reagowanie na niebezpieczeństwo. Na ekranie superbohater właśnie o włos uniknął ataku Doktora Octopusa i dzięki niesamowicie szybkiemu unikowi zbiegł spod macek przeciwnika. Efekty specjalne były znakomite i uśmiechnąłem się do Susan, zapominając, że choć ja interesuję się jej lekturą, jej nie ciekawią przygody Spider-Mana.

Ciekłe kryształy zmieniają polaryzację światła – to dzięki temu mechanizmowi obraz Człowieka Pająka powstawał na monitorze przede mną. Jeśli popatrzycie przez okulary polaryzacyjne na ekran ciekłokrystaliczny, zobaczycie wyświetloną treść tylko wtedy, gdy polaryzacja jego światła będzie zgodna z polaryzacją szkieł, inaczej powierzchnia będzie się wydawać ciemna. Jeśli zmieni się więc strukturę ciekłego kryształu za pomocą pola elektrycznego, zmianie ulegnie także jego polaryzacja. Jednym pstryknięciem przełącznika można więc włączać i wyłączać podświetlenie. Powstaje urządzenie zdolne wysyłać

białe światło, by w kolejnej chwili ściemnieć, później znów się rozjaśnić i tak dalej, z prędkością zależną od zdolności układu do elektronicznego przeobrażania struktury kryształów. To zalążek czarno-białego ekranu.

Technologia ta może się wydawać prosta, ale potrzeba było kilkudziesięciu lat, by ją zastosować. Dziwne zachowanie ciekłych kryształów po raz pierwszy opisał austriacki botanik Friedrich Reinitzer – zrobił to w roku 1888, zaledwie dwa lata przed publikacją *Portretu Doriana Graya*. Choć przez kolejne osiem dekad ciekłe kryształy badało wielu naukowców, nikt nie potrafił znaleźć dla nich dobrego zastosowania. Dopiero w 1972 roku firma Hamilton Watch Company wyprodukowała pierwszy zegarek cyfrowy o nazwie Pulsar Time Computer, co zapoczątkowało karierę ciekłych kryształów. Zegarek wyglądał świetnie – nie przypominał żadnego ze swoich poprzedników – i kosztował więcej niż przeciętny samochód. Ludzie, którzy go kupowali, sądzili, że kupują przyszłość. Mieli rację: zbliżała się era technologii cyfrowej, a Pulsar był pierwszym masowo produkowanym wyrobem gałęzi przemysłu, której wartość wkrótce miała sięgnąć miliardów dolarów.

W zegarku tym zamontowano LED-y, czyli diody świecące – półprzewodnikowe kryształy, które pod wpływem prądu emitują czerwone światło. Wyglądały znakomicie na czarnym tle. Bogaci i sławni oszaleli na punkcie Pulsara – nawet James Bond nosił go w filmie *Żyj i pozwól umrzeć* z 1973 roku. Wadą ówczesnych diod świecących był jednak spory pobór mocy, dlatego w pierwszych zegarkach cyfrowych szybko wyczerpywały się baterie. Aby zaspokoić nowo powstały ogromny popyt na stosowane w tych zegarkach ekrany, trzeba było obniżyć ich zapotrzebowanie energetyczne. Nagle ciekłe kryształy,

które przez wiele dekad pozostawały jedynie ciekawostką laboratoryjną, znalazły zastosowanie. Szybko zdominowały rynek zegarków cyfrowych, ponieważ energia potrzebna do przełączenia ciekłokrystalicznego piksela jest mikroskopijna. Ponadto są na tyle tanie, że producenci zaczęli z nich wytwarzać całe ekrany: to ta szara powierzchnia w okienku zegarka. Mechanizm zmienia polaryzację niektórych obszarów ciekłego kryształu, które przestają przepuszczać spolaryzowane światło i się zaczerniają. Można więc pokazywać zmieniające się cyfry – godzinę, datę czy jakiekolwiek inne informacje dające się pomieścić na małym ekraniku.

Do moich najwyraźniejszych wspomnień z dzieciństwa należy uczucie szalonej zazdrości, którą poczułem, gdy mój przyjaciel Merul Patel wrócił po wakacjach do szkoły z nowym cyfrowym zegarkiem Casio wyposażonym w kalkulator. Robił na mnie niesamowite wrażenie, nonszalancko wciskając malutkie guziczki, które odpowiadały mu wesołymi piknięciami. Teraz widzę oczywiście, że było to dość głupie – na co komu maciupki kalkulator? – jednak w owym czasie byłem absolutnie zachwycony. Tak uzależniłem się od gadżetów.

Zegarek z kalkulatorem marki Casio

Choć zegarki cyfrowe wyszły z mody, zastąpił je niekończący się strumień innych cyfrowych gadżetów, wśród których poczesne miejsce zajmują telefony komórkowe, nadal wykorzystujące ciekłe kryształy w wyświetlaczach. Może się to wydawać zaskakujące, ale ta sama technologia, którą zastosowano w zegarkach, doprowadziła do powstania ekranu nowoczesnego smartfona zdolnego wyświetlać kolo-

rowe filmy. Wróćmy teraz do malarstwa olejnego i zagadki ruchomego obrazu opisanego w powieści *Portret Doriana Graya*. Ciekłe kryształy dobrze by się nadawały do jego stworzenia – ale jak powstaje w nich kolor?

Wszyscy wiemy, że po połączeniu farby żółtej z niebieską powstaje mieszanka, której barwę nasze oczy interpretują jako zieleń. Na podobnej zasadzie połączenie czerwieni z niebieskim daje fiolet. Teoria koloru pokazuje, w jaki sposób stworzyć dowolną barwę po zmieszaniu kolorów podstawowych. W przemyśle drukarskim stosuje się głównie cyjan (C), magentę (M) i żółty (Y) z dodatkiem czerni (K) dla lepszej kontroli kontrastu. Tych samych barw używają drukarki atramentowe, dlatego na pudełku z kartridżem można znaleźć skrót CMYK. Drukarka nanosi te barwy na kartkę punkt po punkcie, natomiast nasze oczy i cały system postrzegania optycznego łączą je w taki sposób, że widzimy jeden określony kolor. Już od dawna wiemy, że oko można w ten sposób oszukać. Newton zauważył to zjawisko już w XVII wieku, a puentyliści wykorzystywali je 200 lat później. Zaletą takiej metody jest to, że farby fizycznie się z sobą nie mieszają, toteż można kontrolować ich jasność i luminescencję, aby otrzymać pożądany efekt. Według teorii koloru, o ile kropki są małe i leżą blisko siebie, można w ten sposób uzyskać dowolny odcień. Lecz zmiana raz naniesionego koloru stanowi nie lada problem – należałoby w tym celu fizycznie zmienić stosunki barwników na płótnie, a więc wymazać jedne kropki, a dodać inne. Chyba że udałoby się znaleźć sposób nanoszenia kropek o zmiennej barwie.

Tak właśnie działają wyświetlacze ciekłokrystaliczne w telefonie, telewizorze czy, jak w moim przypadku, monitorze wbudowanym w oparcie fotela lotniczego przede mną. Kropki te nazywamy pikselami.

Każdy z nich ma trzy barwne filtry przepuszczające po jednym z podstawowych kolorów. W wyświetlaczach są to czerwony (R), zielony (G) i niebieski (B) – stąd skrót RGB. Jeśli barwy te emituje się w równych proporcjach, piksel wydaje się biały, mimo że wszystkie trzy filtry są włączone. Możecie sami się o tym przekonać, nanosząc kropelkę wody na ekran smartfona. Woda zadziała jak soczewka powiększająca, co pozwoli wam dostrzec grupy po trzy piksele: czerwony, zielony i niebieski.

Tak jak mistrzowie malarstwa olejnego musieli opracować teorię postrzegania, która pozwoliła im uzyskiwać ciemne i czarne partie obrazów przez mieszanie farb, tak też współcześni inżynierowie i naukowcy pracujący nad ekranami ciekłokrystalicznymi stale poszerzają granice tego, co jest możliwe w dziedzinie wyświetlania kolorowych filmów. I podobnie jak w renesansie olej walczył z innymi technikami, takimi jak fresk czy tempera jajeczna, tak dzisiejsze wyświetlacze ciekłokrystaliczne (LCD) konkurują z organicznymi diodami elektroluminescencyjnymi (OLED). Ta bitwa, która toczy się obecnie w ekranach nowej generacji telewizorów, tabletów i smartfonów, opisywana jest specyficznym językiem. Możecie wyczytać, na przykład na jakimś blogu, że ekrany LCD nie są w stanie wygenerować głębokiej czerni, bo elementy polaryzacyjne odfiltrowujące światło podczas ciemnych scen nie są stuprocentowo skuteczne i widzimy co najwyżej ciemne szarości. Z tego samego powodu – to znaczy użytej metody komponowania koloru – w technologii LCD maksymalna jasność niektórych odcieni nie jest dość wysoka. Dlatego, nie chcąc, by światło odbijało się od ekranu, musiałem zasłonić rolety w kabinie. To jeszcze jedna wada tej technologii.

W świecie wyświetlaczy nieustannie jednak wprowadza się znako-

mite innowacje, które wciąż w pewnym stopniu bazują na metodzie nakładania kolejnych warstw farby olejnej. Na przykład dodanie warstwy aktywnej do matrycy pozwala uruchamiać niektóre piksele niezależnie od innych. Dzięki temu w pewnych obszarach obrazu można uzyskać wyższy kontrast niż jego średnia dla całego ekranu. Jest to użyteczne przy pokazywaniu tylko częściowo oświetlonych scen filmowych. Technologia ta działa oczywiście automatycznie, wykorzystując tranzystory – do tego właśnie odnosi się słowo „aktywna" w określeniu „aktywna matryca". Inżynierowie nauczyli się również zwiększać kąty widzenia, pod którymi obraz jest wyraźnie widoczny. Jeszcze do niedawna, stojąc z boku, nie widziało się zbyt dobrze zawartości ekranu, lecz ostatnio wprowadzono „dyfuzor", który rozsyła opuszczające ekran światło w różnych kierunkach. Dla porównania, technologia OLED, następczyni świecących na czerwono diod z pierwszego cyfrowego zegarka Pulsar Time Computer, jest już dziś energooszczędna. Oferuje także znacznie poszerzoną paletę kolorów i niemal doskonałe kąty widzenia. Wyświetlacze takie, choć znacznie droższe niż ekrany LCD, wciąż jednak nie dorównują im jasnością.

Technologia ciekłych kryształów nie jest może idealna, lecz to właśnie przy jej użyciu powstaje ruchomy obraz, o jakim marzył Oscar Wilde. Można dziś sobie powiesić w holu (lub na strychu) własny portret, który będzie się z dnia na dzień uaktualniał. Gdy kilka lat temu ekrany LCD bardzo potaniały, zaczęto je sobie wręczać jako prezent pod postacią interaktywnej ramki na zdjęcia. Nie stały się jednak zbyt popularne. Mało tego, odbiorcy je wręcz znienawidzili, tak jak Dorian Gray nienawidził własnego zmieniającego się portretu. Jestem pewny, że nie chodzi o niską jakość wyświetlanego obrazu – wiele osób lubi przecież patrzeć na siebie na ciekłokrystalicznym wy-

świetlaczu smartfona – lecz raczej o samą naturę tej technologii. Płynny, magiczny i bajkowy wyświetlacz próbuje udawać trwały, konkretny, autentyczny zapis chwili zamrożonej w czasie na fotografii.

Ta sama technologia stała się jednak niesłychanie popularna pod postacią płaskich ekranów telewizyjnych. Możliwość zmiany koloru pikseli w skoordynowany sposób pozwala wyświetlać filmy. Możemy dzięki temu oglądać aktorów, którzy mówią, gestykulują, przybierają różne miny oraz – jak w przypadku filmu, który właśnie oglądałem – skaczą z budynku na budynek, ratując świat przed złem. Choć wiedziałem, że to, na co patrzę, nie jest prawdziwe – że to tylko zbiór pikseli o podstawowych barwach błyskających w akompaniamencie ścieżki dźwiękowej – oglądana historia i tak pobudzała mój intelekt oraz emocje, całkowicie mnie absorbując. Tylko jedną rzecz trudno mi pojąć – jeżeli porównam doświadczenie oglądania filmu w samolocie z podziwianiem wielkiego dzieła sztuki w galerii, takiego jak *Zmartwychwstanie* Tycjana, z góry mogę przewidzieć, co bardziej mnie poruszy. Obawiam się, że film. Nie jestem z tego dumny. Wiem, że obrazy Tycjana to wspaniałe arcydzieła, w przeciwieństwie do wyświetlanych na dziesięciocalowym ekranie produkcji o superbohaterach. Czemu jestem tak płytki? Czy na wysokości 12 kilometrów człowiek traci gust? A może chodzi o to, że lot w przestworzach wprowadza go w stan zwiększonego pobudzenia emocjonalnego?

Statyczne obrazy, takie jak malowidła czy zdjęcia, skłaniają nas do rozmyślań o tym, jak bardzo się zmieniliśmy między jednym a drugim oglądaniem dzieła. Ponownie patrząc na arcydzieła Tycjana, van Gogha czy Fridy Kahlo, możemy prześledzić własne reakcje w ciągu całego życia. Obrazy pozostają takie same, ale ich znaczenie zmienia się zgodnie z rytmem zmian zachodzących w nas samych. Magiczne

ciekłe ekrany w samolotach działają odwrotnie: są ruchomym okienkiem na inny, barwny świat. Pozwalają nam uciec od samych siebie. Lecąc ponad chmurami na wysokości 12 tysięcy metrów, wkraczamy do krainy fantazji. Przez chwilę możemy się poczuć jak bogowie, którzy obserwują ludzi z góry przez swoje ciekłe portale, śmiejąc się z ich głupoty i kręcąc głową z niedowierzaniem, jacy są postrzeleni. To wyostrza nasze emocje. Badania naukowe wskazują, że dzieje się tak wskutek skrajnego kontrastu między przytulnym poczuciem jedności z ludźmi pokazywanymi na ekranie a brutalnym faktem, że w otoczeniu nieznanych nam osób pędzimy w stalowej tubie na ogromnej wysokości. Wydaje mi się to całkiem prawdopodobne. Tylko w samolocie zdarza mi się płakać na filmach. Nawet najgorsze chały potrafią wycisnąć mi z oczu łezkę. Śmieję się też do rozpuku, oglądając komedie, które na ziemi nie wywołałyby u mnie nawet cienia uśmiechu.

Pod koniec filmu Spider-Man zwyciężył, lecz w ciekłych kryształach ekranu nie zapisała się ani jedna z oglądanych przeze mnie scen. Pociemniał, szykując się do wyświetlenia kolejnego snu. Poczucie boskości zmalało. Spojrzałem na Susan: owinięta w koc spała w pozycji, która sprawiała wrażenie wygodnej, choć z doświadczenia wiedziałem, że taka nie jest. Kusiło mnie, by odsunąć roletę i znów napawać oczy rozświetlonym błękitem nieba, ale nie chciałem ryzykować, że ją zbudzę. Zastanawiałem się, czy uda mi się zasnąć. Postanowiłem spróbować. Zdjąłem buty, odchyliłem fotel i starałem się zapomnieć, jak trudno jest mi zapaść w sen podczas lotu.

Organiczna

Zbudziłem się gwałtownie, gdy Susan bezceremonialnie zepchnęła moją głowę ze swojego ramienia. Poczułem zażenowanie, które jeszcze się zwiększyło, gdy zobaczyłem, że z moich ust na jej rękaw wyciekła strużka śliny. Wykonałem szybki gest, by ją zetrzeć, ale nie potrafiłem spojrzeć w twarz Susan, by ją przeprosić, więc zamiast tego udawałem, że nadal śpię. Przesunąłem głowę na drugą stronę i próbowałem umościć ją w luce między twardą polipropylenową ścianką samolotu a akrylową obudową fotela. Było mi niewygodnie, czułem się niezręcznie i nawet trochę mnie bolało, ale uznałem, że zasługuję na karę. Choć wciąż zaciskałem powieki, rozbudziłem się na dobre. Jak długo będę musiał pozostawać w tej pozycji, zanim oboje będziemy mogli udać, że zapomnieliśmy o całej sprawie? Czy to najbardziej zawstydzająca rzecz, jaka mi się przytrafiła? Nie. Ale znajdowała się wysoko w rankingu, w okolicach zmoczenia się w szkole, ataku gwałtownych mdłości w drodze do restauracyjnej toalety oraz oglądania, jak ojciec kicha mi do zupy tuż po tym, jak ją podano. Te sceny niczym z horroru regularnie do mnie wracają, nie tracąc na intensywności. Dlaczego płyny ustrojowe wywołują w nas tak wielkie emocje? Ba, samo określenie „płyny ustrojowe” budzi moje zaniepokojenie. Wiele naszych manier i zwyczajów skupia się na ukrywaniu cielesnych wydzielin. A przecież gdyby nie one, mielibyśmy poważne kłopoty. Kiedy znajdują się w organizmie, są niezbędne dla naszego dobrostanu, dlaczego więc tak nas brzydzą, gdy go opuszczają?

– Przepraszam, chciałby pan curry z kurczakiem czy makaron?

Podawano posiłek. Poruszyłem się w fotelu, udając, że właśnie się obudziłem, i przesadnie demonstrowałem, jaki jestem zaspany.

– Ehm… Przepraszam, co takiego?

– Woli pan curry z kurczakiem czy makaron?

– Eee, curry, dziękuję – odpowiedziałem pospiesznie, otwierając skobelek, by rozłożyć stolik.

Nie spojrzałem w oczy Susan od chwili, gdy ją obśliniłem, ale instynktownie wyczułem, że podanie posiłku można uznać za cezurę, po której więcej nie będziemy do tego wracać. Oboje potrzebowaliśmy teraz śliny.

Wziąłem bułeczkę z postawionej przede mną tacy i ugryzłem kęs. Była miękka, ale trochę sucha. Na szczęście nawilżyła ją nieco wydzielina moich gruczołów ślinowych. Wzięły się do roboty, wytwarzając ciecz, która po wymieszaniu się z pieczywem nie tylko zapobiegła jego przylgnięciu do podniebienia, lecz także wzmocniła smak. Poczułem słodycz, ponieważ ślina najpierw rozpuściła cukry i dostarczyła je do moich kubeczków smakowych. Chwilę potem dotarły do mnie słonawe i wytrawne posmaki bułki.

Typowy obiad w samolocie

By kubeczki smakowe mogły rozpoznać cząsteczki aromatyczne, potrzebne jest jakieś medium. Jego funkcję pełni ślina, w którą zaopatrzyła nas ewolucja. Chleb nie jest soczysty, więc by cieszyć się jego smakiem – czy też w ogóle móc go przełknąć – musi zostać zwilżony śliną. Lecz ślina nie tylko rozpuszcza aromaty, ale też pomaga układowi rozpoznawania smaków określić, czy jedzenie jest pożywne i czy nie zawiera patogenów lub trucizn. Są w niej enzymy, które wstępnie trawią pokarm, aby kubeczki smakowe oraz receptory węchowe w nosie mogły przeanalizować, co znajduje się w ustach, zanim połkniemy pierwszy kęs. Jednym z najważniejszych enzymów

jest amylaza, która rozkłada skrobię na cukry proste, i to dlatego chleb smakuje tym bardziej słodko, im dłużej się go przeżuwa. Enzym ten trawi węglowodany jeszcze długo po połknięciu kęsa, a także rozkłada wszystkie drobinki pozostałe w ustach lub między zębami.

Ślina odpowiada również za równowagę pH w jamie ustnej i na bieżąco stara się ją utrzymać na neutralnym poziomie. Skala pH, wyrażona liczbą od 0 do 14, opisuje kwasowość lub zasadowość cieczy. Te o pH równym 0 są najbardziej kwaśne, a 14 – najbardziej zasadowe. Czysta woda, ciecz neutralna, ma pH 7. Kwasy, takie jak sok z cytryny o pH 2, mają oczywiście kwaśny smak. Większość napojów, w tym sok pomarańczowy lub jabłkowy, a nawet mleko, ma odczyn kwasowy. Nie wszystkie jednak smakują kwaśno, ponieważ często zawierają cukry, co równoważy ich profil smakowy (napoje w rodzaju coli mają przeważnie pH na poziomie 2,5, lecz zawarty w nich cukier sprawia, że są bardzo słodkie).

Wiele rodzajów bakterii w jamie ustnej żywi się cukrami, a wytwarza kwasy, które trawią szkliwo zębów, co prowadzi do próchnicy. To dlatego dentyści zawsze namawiają, by jeść mniej cukru. Ślina nieustannie zmywa bakterie i przywraca równowagę pH w ustach. Ponadto zawiera wapń, fosforan i fluor – jest przesyconym roztworem tych związków – które odkładają się na zębach, naprawiając uszkodzenia. Są w niej także białka, które powlekają szkliwo, uodparniając je na działanie kwasu, jak również związki bakteriobójcze, przeciwbólowe i inne, które pomagają oczyścić i uleczyć powstałe podczas przeżuwania mikrouszkodzenia jamy ustnej. Innymi słowy, ślina jest jedynym znanym większości zwierząt protoplastą płynów do higieny jamy ustnej. Nie tylko chroni zęby i dziąsła, lecz także zapobiega halitozie (nieświeżemu oddechowi), którą powodują kolonie bakterii ży-

jące w tylnej części języka.

Regularnie napływająca z gruczołów ślina nieustannie przemywa i czyści jamę ustną. By się przekonać, ile śliny powstaje w śliniankach, wybierzcie się do dentysty. Stomatolog wkłada pacjentowi do ust aparat do odsysania śliny, by wyraźnie widzieć leczone zęby. Śliniankom to jednak nie w smak i prawie natychmiast uzupełniają to, co odciągnięto. Przeciętny człowiek produkuje od 0,75 do 1 litra tej niezwykłej cieczy dziennie.

Wiele gatunków zwierząt posiada gruczoły ślinowe, które w ciągu milionów lat ewoluowały do pełnienia najrozmaitszych funkcji. Węże wytwarzają w nich jad. Larwy much – jedwab. Komary – substancje zapobiegające krzepnieniu krwi podczas jej wysysania. Niektóre ptaki używają śliny do klejenia gniazd. Pewne jaskółki, na przykład salangana czarnogniazdowa, budują gniazda wyłącznie z utwardzonej śliny – w Chinach są one nie lada przysmakiem.

W ten sposób znów wracamy do jedzenia. Oczywiście jednym z podstawowych zadań ludzkiej śliny jest nawilżanie jedzenia, by można je było połknąć. W przeciwnym razie sprawiałoby to spory problem, co możemy zobaczyć podczas zawodów w jedzeniu krakersów na czas. Jeśli nigdy tego nie robiliście, spróbujcie zjeść bez popijania jak najwięcej krakersów w ciągu minuty. U większości ludzi krakersy wchłaniają tak dużo śliny, że wystarczy zjeść jednego, by już następny podrapał podniebienie, a sucha, pokruszona masa, która powstała w ustach, nie dawała się przełknąć. Nie tylko ślina służy nam do radzenia sobie z suchymi potrawami. Często przy jedzeniu pijemy napoje. Również masło, majonez, oliwa, margaryna czy inne rozprowadzone na jedzeniu tłuszcze pełnią funkcję nawilżającą.

Większość z nas produkuje dość śliny, by jeść dowolny rodzaj po-

żywienia, jednak niektórzy cierpią na przypadłość zwaną kserostomią, która polega na niedostatecznym wydzielaniu tego płynu. Suchość w ustach może być spowodowana chorobą, lecz częściej stanowi skutek uboczny zażywanych lekarstw. Potrafi być niezwykle dokuczliwa – niekiedy całkowicie uniemożliwia pacjentom jedzenie stałych pokarmów. Stan ten może być także tymczasowy, wywołany stresem lub niepokojem. Jeśli denerwujecie się podczas wystąpień publicznych, mogliście go doświadczyć, wygłaszając jakąś przemowę – ślinianki wstrzymują produkcję, gardło zasycha i przełykanie, a nawet mówienie staje się bardzo trudne. Być może nawet przełykacie ślinę podczas czytania tych słów. To typowa reakcja, która uwidacznia, w jak wielkim stopniu nasz układ produkowania śliny związany jest z układem nerwowym.

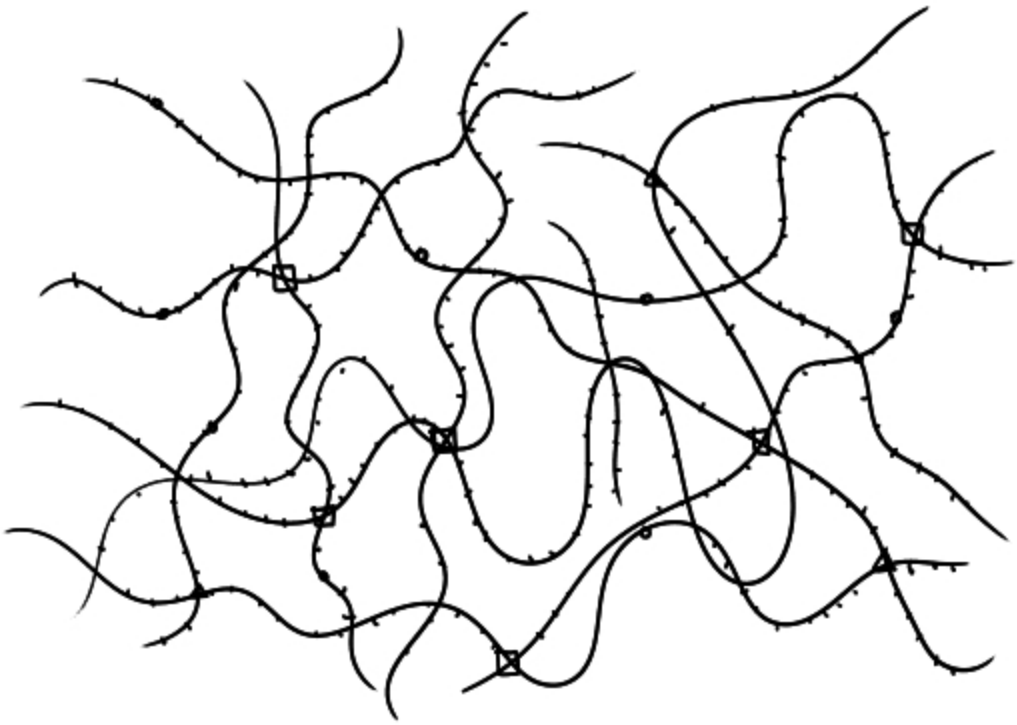
Skoro dentyści odsysają mnóstwo śliny z jamy ustnej pacjentów, dlaczego by jej nie oddawać cierpiącym na kserostomię? Cóż, ludzie nie chcą śliny należącej do innych. Brzydzimy się jej – wiele osób nie decyduje się nawet napić z naczynia, z którego wcześniej pił ktoś inny, jeśli pociąga to za sobą ryzyko wypicia odrobinki czyjejś śliny. Obrzydzenie to jednak nie jedyny problem uniemożliwiający transfuzję śliny. Wydzielina ta po opuszczeniu ciała szybko się rozkłada, tracąc wiele ze swych cennych właściwości. Dlatego zamiast przetaczać ją między pacjentami, firmy farmaceutyczne produkują sztuczną ślinę, składającą się głównie z minerałów, które chronią przed próchnicą, związków równoważących odczyn pH w ustach i lubrykantów, które nawilżają pokarm, by można go było łatwiej przełknąć. Substancję tę można kupić w postaci żelu, spreju lub płynu. Gdy musimy jej używać lub obserwujemy, jak robi to ktoś bliski, zaczynamy naprawdę doceniać rolę gruczołów ślinowych.

Moja własna ślina pozwoliła mi przełknąć suchawą bułkę podaną do obiadu, co pobudziło mój apetyt, toteż skierowałem spojrzenie na małą miseczkę z sałatką. Były w niej plastry pomidora, trochę jakby za duże w zestawieniu z kawałeczkami ogórków i strzępkami sałaty lodowej. Sałatka wydawała się sucha i nieapetyczna. Miseczce towarzyszyła torebeczka z dressingiem. Próbowałem odedrzeć końcówkę i wreszcie mi się to udało, choć nie spodziewałem się, że tak mała przeciwniczka stawi tak zaciekły opór. Beżowy winegret, który w końcu z niej wycisnąłem, okazał się bardzo gęsty i nie dało się go równomiernie rozprowadzić. Spadł w postaci ślimakowatych kluch na pomidory i sałatę. Trochę mnie to obrzydziło. Prawdę mówiąc, wiele różnych rodzajów jedzenia może okazać się dość odstręczających, jeśli – tak jak ja teraz – zacznie się o nich myśleć poza kulinarnym kontekstem.

Obecnie mało które jedzenie budzi moją odrazę, lecz w dzieciństwie bywałem bardzo wybredny i widok winegretowych ślimaków natychmiast przypomniał mi tamte czasy. Mama zawsze nalegała, bym zjadał wszystko, co dostaję, a gdy się buntowałem, podawała mi statystyki głodu na świecie i przekonywała, że niejeden człowiek byłby w stanie kogoś zabić, by dostać potrawy, na które ja kręcę nosem. Niewiele to pomagało. Czułem odrazę, a odraza jest instynktowna. Nie da się jej zwalczyć racjonalnymi argumentami, o czym jej stale, choć bezskutecznie przypominałem. Odraza przeważa nad racjami moralności. Gdy próbowałem – lub byłem zmuszony – jeść potrawę, która mnie brzydziła, zbierało mi się na wymioty. Odpychały mnie przeważnie rzeczy glutowate, dokładnie takie jak dressing na stojącej przede mną sałatce – śliska, brejowata ciapka. Tę właściwość cieczy nazywamy lepkosprężystością lub wiskoelastycznością. Cechujące się nią substancje zachowują się czasem jak ciało stałe, choć częściej jak

ciecze. Dlatego w przeciwieństwie do normalnych cieczy można chwycić takiego gluta w palce i unieść. Jest dość jednorodny i pod naciskiem wydaje się nawet trochę sprężysty. Choć większość płynów się rozlewa, gdy je poruszyć, brejowaty kawałek do pewnego momentu wciąż stanowi całość. Po jakimś czasie także zaczyna jednak ciec po ręce, co oddaje człon „lepko-" w określeniu „lepkosprężystość". Cechą tą charakteryzuje się na przykład żel do włosów, który można wziąć w palce i co prawda także będzie z nich spływał, ale zajmie mu to dużo czasu. Gęsty szampon lub pasta do zębów także są lepkosprężyste. Nie wiedzieć czemu, w łazience glutowatość zwykle nam nie przeszkadza – może dlatego, że nie jemy produktów higienicznych.

Nasze obrzydzenie budzą substancje glutowate i brejowate – ale czemu tak się dzieje? Może dlatego, że przypominają wydzieliny wewnętrzne, których obecność poza organizmem może być sygnałem choroby. Fekalia w stanie ciekłym są odpychające, zwłaszcza gdy przypadkowo wdepnie się w nie bosą stopą, by poczuć, jak z pluskiem przeciskają się między palcami. Dla odmiany twarde bobki lub placki, zwłaszcza pozostawione przez owce czy krowy, raczej nikogo nie brzydzą. Smarki, śluzowate i zielonkawe, są ohydne, podobnie jak każdy, kto je zjada. Dziecko, choćby najbardziej urocze, któremu z nosa cieknie zielony glut, wyda się obrzydliwe wszystkim poza jego rodzicami, choć nawet oni zwykle nie pałają miłością do kataru swoich pociech. To właśnie smarkowatość dressingu sałatkowego tak mnie odpychała. Postanowiłem go nie jeść.



Struktura mucyn. Różniące się pod względem funkcjonalnym elementy (kwadraty, kółka i trójkąty) tworzą wspólnie lepkosprężystą sieć, która przechwytuje wodę, zamieniając się w śluzowaty, lepki żel

Choć lepkosprężysta ślina może się wydawać odrażająca, cecha ta świadczy o jej złożoności strukturalnej. Do najważniejszych grup cząsteczek, z których się składa, należą mucyny. Są to duże cząsteczki białek wydzielane najczęściej przez błony śluzowe. Śluz to śliska substancja ochronna wytwarzana przez nasz organizm w miejscach, które mogą być narażone na działanie obcych cząsteczek, toksyn i patogenów, czyli w nosie, płucach i oczach. Wycieka nam z nosa pod wpływem dymu lub gromadzi się w oczach, gdy wpadnie do nich pył. Śluz jest lepki, ponieważ mucyny tworzą liniową cząsteczkę o wielu funkcjonalnych częściach składowych, gotowych związać się chemicz-

nie z innymi cząsteczkami. Innymi słowy, przypomina pod tym względem kleje żywiczne.

Rzecz jasna, system śluzówek nie zawsze działa idealnie. Wystarczy sobie przypomnieć, co się dzieje podczas przeziębienia czy innej infekcji – katar i zielona flegma gromadzą się w gardle. Mucyny są hydrofilowe, czyli mają skłonność do łączenia się z wodą. Wiążą się także jedne z drugimi, tworząc sieć długich cząstek, które działają jak pułapka na wodę, a wówczas powstaje lepkosprężysty żel. Flegma zachowuje ciągłość dzięki wiązaniom między cząsteczkami mucyny, lecz ponieważ ich sieć może łatwo zmieniać strukturę, cieknie niczym ciecz. Duże mucyny układają się wówczas w kierunku przepływu i to dlatego, kiedy się ślinimy, strużki śliny przybierają postać długich nitek. Jej zdolność do zachowywania się zarówno jak zwarta masa, jak i ciecz nadaje jej właściwości nawilżające. Ślimaki wytwarzają bardzo podobną substancję, która umożliwia im poruszanie się. Zawiera ona mnóstwo mucyn i dlatego ślimak zostawia za sobą lepki ślad. Choć wielu osobom ślimaki i ich sposób przemieszczania się wydają się odrażające, śluz wydzielany przez te mięczaki bardzo przypomina ludzką ślinę. Mało tego, zbiera się go i sprzedaje w postaci kremu do twarzy. Co prawda dobroczynne skutki wsmarowywania go w skórę nie zostały udowodnione, ale nie zniechęca to nabywców.

Mogliście zauważyć, że lepkosprężystość śliny zmienia się w ciągu dnia zależnie od tego, co jemy i pijemy, lub czy jesteśmy zdrowi. Czasem plwocina bywa wodnista, czasem lepka i ciągnąca. Może przybierać różną konsystencję zależnie od tego, które gruczoły ją wydzielają. Działanie ślinianek jest kontrolowane przez autonomiczny układ nerwowy odpowiedzialny za regulację pracy narządów wewnętrznych bez udziału woli. Dzieli się on na dwie części: współczulny i przy-

współczulny. Ten drugi pilnuje, byśmy się odpowiednio odżywiali, i wytwarza wodnistą ślinę podczas jedzenia. Ten pierwszy wchodzi do gry już po posiłku. Pomaga utrzymywać wilgotność w jamie ustnej i zwalczać infekcje oraz próchnicę nawet podczas snu. Ślina wydzielana przez układ współczulny ma inny skład i mikrostrukturę – jest gęstsza i bardziej ciągnąca. To właśnie taki płyn wyciekł mi z ust na rękaw Susan. Zerknąłem na nią kątem oka, bez obracania głowy, by sprawdzić, w jakim jest nastroju. Jadła makaron, nie okazując żadnych emocji.

Uznałem, że mogę się już zabrać do jedzenia. Włożyłem kęs do ust. Może zawiniła wielkość widelca, może soczystość potrawy – dość, że już chwilę później miałem sos na brodzie. Nie wiem, czemu zawsze mi się to przytrafia, ale gdy jem coś soczystego, muszę raz za razem przecierać usta, inaczej wkrótce jestem cały upaprany. Jak informują mnie bliżsi i dalsi znajomi, jest to dość obrzydliwe. Na mnie także niezbyt dobrze działa widok upaćkanych ludzi, więc sam nie wiem, czemu dziwi mnie ich reakcja. Najwyraźniej taką mamy normę kulturową – pokarm poza obrębem ust wydaje się nam odrażający, zwłaszcza jeśli został częściowo przeżuty. Najgorzej jest, gdy zmieszał się ze śliną lub gdy ślina cieknie nam podczas jedzenia. Na szczęście moi współpasażerowie nie musieli nic takiego oglądać, bo w czasie posiłku nieustannie używam chusteczek, a poza tym mimo wszystko się nie ślinię.

Jedzenie to aktywność społeczna, a ponieważ w jego trakcie łatwo o przekroczenie bariery obrzydliwości, maniery przy stole są niezwykle ważne w większości kultur. Małe dzieci jedzą w sposób odrażający. Brak im koordynacji ruchowej, by sprawnie i schludnie wkładać kęsy do ust, oraz samodyscypliny, aby ich z powrotem nie wypluwać

ani nie rzucać na stół, podłogę czy we własnych rodziców. Zasada zachowania dobrych manier w trakcie jedzenia należy do podstawowych norm społecznych. Nie wypluwamy pokarmu, nie ślinimy się, nie przeżuwamy z otwartymi ustami. Z tymi sprawami łączy się tak silne tabu, że nawet najbardziej zwyrodniali przestępcy i zdegenerowane flejtuchy przeważnie przestrzegają norm związanych z jedzeniem. Łamią je dopiero ludzie naprawdę szaleni, zaburzeni lub chorzy.

Starałem się więc jeść swoje curry z kurczaka elegancko. Wkrótce spostrzegłem, że na czoło wystąpiły mi kropelki potu. To u mnie częsty objaw, kiedy jem curry. Papryczka chili zawiera związek zwany kapsaicyną, który silnie oddziałuje na rozmieszczone w jamie ustnej receptory sygnalizujące gorąco i niebezpieczeństwo. To dlatego pikantne potrawy powodują pieczenie, nawet jeśli nie są zbyt ciepłe. Gdy wnętrze ust się przegrzewa, organizm w celu ochłodzenia zaczyna się pocić, co właśnie działo się ze mną. Pot to kolejny płyn ustrojowy, który czasem, choć nie w każdej sytuacji, może budzić odrazę. Kiedy przesiąka przez ubrania, nawet jeśli nie towarzyszy temu brzydki zapach, wydaje się obrzydliwy. Obficie pocący się współpasażer w samolocie też może być postrzegany jako odrażający. Dla odmiany pocenie się podczas seksu jest akceptowane i w większości nowoczesnych społeczeństw wręcz wzmaga podniecenie.

Niedawno na University of Texas na sporej grupie osób przeprowadzono badania dotyczące trzech obszarów obrzydzenia: względem patogenów, w sferze seksualnej oraz w dziedzinie moralności (wcześniej zebrano wystarczająco dużo dowodów naukowych na to, że takie rodzaje odrazy rzeczywiście istnieją). By określić poziom tego pierwszego, zadawano pytania o „pleśń na jedzeniu w lodówce” oraz

badano reakcję na widok „nowej, nieznanej potrawy". Obrzydzenie seksualne mierzono, pytając o zdanie na temat różnych eksperymentów erotycznych lub przypadkowego seksu z różnymi partnerami. Obrzydzenie moralne badano natomiast za pomocą pytań na temat ściągania na egzaminach, działania firm, które oszukują dla zysku, i tym podobnych zagadnień.

Badacze stwierdzili, że osoby skłonne próbować nowych, nieoczekiwanych doświadczeń kulinarnych mają wyższy próg obrzydzenia seksualnego. Okazało się wręcz, że u uczestniczących w badaniu mężczyzn istnieje statystycznie istotna korelacja między strategią doboru partnerek a skłonnością do próbowania nowych, nieznanych potraw. Postawiono hipotezę, że mężczyźni tłumią obrzydzenie wywoływane przez różne rodzaje jedzenia, aby zrobić wrażenie na kobiecie. Miałoby to wskazywać, że są zdrowi i posiadają sprawny układ odpornościowy, co jest ważną cechą u partnera seksualnego. Innymi słowy, jedzenie ohydztw może stanowić coś w rodzaju rytuału godowego. A czy tak nie jest? Wiemy, że ludzi brzydzi widok śliny, lecz odraza ta maleje w sytuacjach erotycznych. Mokry buziak od starej cioci, która przytrzymuje nam głowę, byśmy nie mogli się cofnąć z przerażeniem, gdy całuje nas prosto w usta, jest obleśny. Lecz wymiana śliny podczas namiętnego pocałunku z kochanką to doznanie gwałtowne, kompulsywne, wilgotne i organiczne. Ci, których to obrzydza, stoją przed sporym problemem, ponieważ w czasie seksu nawilżanie jest ważną sprawą. Fakt, że te same ciecze, które umożliwiają uprawianie seksu, w innych okolicznościach wydają się obrzydliwe, wiele mówi o tym, jak łatwo podczas aktywności erotycznej potrafimy pokonać opór przed płynami ustrojowymi.

Mimo wszystko byłem stuprocentowo pewny, że moje curry z kur-

czaka oraz sposób, w jaki je jadłem, nie uwiedzie Susan. Otarłem resztki sosu z brody i kącików ust, po czym sięgnąłem po tubkę z deserem. Mus cytrynowy – rzecz dobra na oczyszczenie podniebienia, jeśli tylko jest dość kwaśny. Pod wpływem kwaśnego smaku nasze kubeczki smakowe stymulują ślinianki do wydzielania większej ilości śliny, by zrównoważyć czynnik pH w jamie ustnej. Pozwala to przepłukać receptory smakowe i usunąć z ust wszelkie silne posmaki, takie jak aromat przypraw i czosnku w curry, które właśnie zjadłem. Jeśli jednak smak cytryny nie będzie dość intensywny, podczas delektowania się deserem wciąż będę czuł posmak obiadu – niezbyt nęcąca perspektywa. Na szczęście mus miał cudowną, delikatną, piankowatą strukturę i wyrazisty cytrynowy smak – był przepyszny.

Jedzenie nie tylko polega na przyjmowaniu kalorii, lecz bywa także obrzędem społecznym, rytuałem godowym i doznaniem emocjonalnym. Niewykluczone, że pełni te funkcje za sprawą wydzielających się podczas trawienia dobrego posiłku hormonów, które wywołują poczucie zadowolenia, a wręcz błogości. Ilekroć zjem coś pysznego, czuję, jak doznanie to rozchodzi się z żołądka i przepełnia mnie całego. Czasem uronię nawet łzę.

Łez, w przeciwieństwie do śliny, nie uważamy w naszej kulturze za coś obrzydliwego, choć składają się w dużej mierze z tych samych substancji, w tym mucyn, minerałów i olejów. Istnieją trzy rodzaje łez: podstawowe, odruchowe oraz emocjonalne. Te pierwsze pełnią najbardziej fundamentalne funkcje – chronią oczy przed wyschnięciem, nawilżają powieki podczas mrugania i wymywają pył, a przy tym sprzyjają zwalczaniu infekcji bakteryjnych. Łzy odruchowe pomagają pozbywać się różnych drażniących cząsteczek, takich jak dym czy kurz, na które jesteśmy codziennie narażeni. Ostatni rodzaj łez –

łzy emocjonalne – to te, które możemy uronić po wspaniałym posiłku, podczas słuchania wzniosłej muzyki lub gdy ktoś z nami zrywa. Mają inny skład chemiczny od pozostałych – zawierają hormony stresu. Ich rola nie jest do końca wyjaśniona, przypuszcza się, że ma związek z naszym dążeniem do komunikacji z innymi oraz potrzebą wsparcia. Widok cudzych łez przeważnie budzi współczucie i chęć pokrzepienia. Badania z podwójnie ślepą próbą wykazały, że pod wpływem zapachu kobiecych łez u mężczyzn obniża się poziom testosteronu i podwyższa próg pobudzenia seksualnego.

Nie zawsze chodzi o seks. Jednak gdy mowa o płynach ustrojowych, często czai się on gdzieś w pobliżu. To dlatego Susan tak obrzydziło obślinienie przez kogoś obcego.

– Czy pan już skończył? – spytał steward. Stał przy wózku i wskazywał na moją tackę.

Podałem mu ją nad kolanami Susan, próbując przybrać możliwie najbardziej przepraszającą pozę, nie odzywając się ani nie patrząc jej w oczy. Wyciągnąłem tackę w stronę stewarda, a głowę skryłem za ramieniem.

Orzeźwiająca

– Herbata czy kawa, proszę pana? – zapytał steward popychający wózek pomiędzy rzędami foteli. Większość rolet w kabinie była opuszczona, lecz półmrok przecinały promienie zachodzącego słońca, które padały z nielicznych odsłoniętych okienek. Lot trwał już sześć godzin, do celu zostało pięć, panowała senna atmosfera. Ludzie z personelu pokładowego wyglądali na zmęczonych.

Lubię kawę. Mało tego, uwielbiam ją. Nie piję jej jednak dla smaku, tylko po to, by się pobudzić – a więc czarną. Na wysokości 12 kilometrów nie miałem jednak ochoty na pobudzenie. Z drugiej strony, herbata zaparzona przez kogoś, kto nie potrafi tego robić, jest gorsza niż kiepska kawa. „Ciekawe dlaczego?" – pomyślałem, a steward popatrzył na mnie z mieszaniną znużenia i niecierpliwości.

– Herbata czy kawa? – powtórzył.

Spojrzałem na napój stojący na tacy przed moją sąsiadką. Kawa w plastikowym kubku z uchem tak małym, że chyba do niczego się nie nadawało, woreczek z saszetkami z mlekiem i cukrem, małe mieszadełko oraz serwetka. Wszystko to nie wyglądało zbyt zachęcająco i wiedziałem, że nie poprawi mi nastroju. Taca z napojem wyglądała chłodno i oficjalnie.

– Herbata – odparłem i zaraz dodałem: – Czy jest gorąca? To znaczy, czy zalewacie ją naprawdę wrzącą wodą?

Jednak moje pytania zagłuszył pomruk silnika, a może steward postanowił je zignorować. Nalał herbatę do takiego samego kubka, jaki otrzymała Susan, i podał mi na tacy z identycznymi dodatkami.

Jak powinna smakować filiżanka herbaty? Gdy upijam pierwszy łyk, spodziewam się gorzkawego, rześkiego aromatu, który angażuje wszystkie kubki smakowe. Nie chodzi o przebojowy smak cappuccino z pianką i czekoladową posypką, lecz subtelną, choć wyrazistą falę przyjemności, po której nie sposób powstrzymać choćby bezgłośnego zachwytu. Pragnąłbym natychmiast poczuć, że piję napar z liści, nie dlatego, że połykam ich fragmenty, ale z powodu cierpkiego smaku na podniebieniu, który spłucze wszelkie nieświeże zapachy kabiny. Zależy mi na zrównoważonym aromacie, w którym nuty gorzkie walczą o przewagę ze słodkimi, lecz żadne jej nie zyskują, w tle zaś czuć delikatny słonawy komponent. Wszelka kwasowość powinna być minimalna, wyczuwalna tylko na tyle, by podkreślić nuty owocowe i fermentacyjne, a jednocześnie pobudzająca. Ważny jest także kolor – czarna herbata musi być cudownie złocista i przejrzysta, nie tak ciemna, bym nie mógł dostrzec dna filiżanki. Lubię oceniać barwę herbaty, gdy przed podaniem kelner nalewa mi ją z imbryka. Dużą satysfakcję sprawia mi cichy bulgot naparu wypełniającego naczynie – przypominają mi się wówczas wszystkie te chwile, jakże odmienne od obecnej, które spędziłem z rodziną przy kuchennym stole.

Ze wzbierającą nadzieją upiłem łyk.

Okropność.

Herbata smakowała jak podgrzana, pozbawiona słodyczy cola. Spróbowałem jej znowu, by sprawdzić, czy się nie pomyliłem. Tym razem dotarł do mnie nieprzyjemny posmak plastikowego kubka. Kątem oka spojrzałem na Susan, która z zadowoleniem czytała książkę i popijała kawę. Ewidentnie źle wybrałem.

Herbata ma opinię najpopularniejszego gorącego napoju na świecie. Choć trudno znaleźć wiarygodne dane na ten temat, w Wielkiej

Brytanii wypija się dziennie około 165 milionów filiżanek herbaty i tylko 70 milionów filiżanek kawy. Podobnie dzieje się w wielu innych krajach świata. Co takiego ma w sobie herbata, czego brakuje kawie? Jeszcze ważniejsze pytanie: dlaczego herbatę zaparza się często w tak beznadziejny sposób?

Napar z mojej filiżanki zaczął życie jako kilka pędów na niczym nie wyróżniającym się krzewie, który rośnie tylko w klimacie tropikalnym i subtropikalnym. Można by przejść obok niego obojętnie, jak to czynili nasi przodkowie przez tysiące lat, nie wiedząc, że jest źródłem tak wielkich rozkoszy. Krzew lubi wilgoć i opady, ale nie toleruje wysokiej temperatury, dlatego miejsc nadających się do jego uprawy jest niewiele, na przykład wyżynna prowincja Junnan w Chinach, góry Japonii, Himalaje w indyjskim dystrykcie Dardżyling czy wyżyny interioru Sri Lanki. Najlepsza herbata na świecie, a w każdym razie najdroższa, to Da Hong Pao z gór Wuyi w Chinach, której kilogram może kosztować milion dolarów.

Na smak liści herbacianych wpływają położenie geograficzne, wysokość upraw nad poziomem morza i warunki panujące w konkretnym sezonie. Wytwórcy głowią się nad tym, jak mieszać liście pochodzące z różnych miejsc, aby miesiąc po miesiącu i rok po roku zawsze dostarczać produkt o jednakowym smaku.

Plantacja herbaty

Choć istnieje wiele odmian herbaty, wszystkie wywodzą się z jednej rośliny – *Camellia sinensis*. Różnica między herbatą zieloną a czarną (oraz innymi rodzajami, takimi jak biała, żółta, oolong) polega na sposobie przetwarzania liści. W każdym sezonie ręcznie zrywa się z krzewu najmłodsze listki, które natychmiast zaczynają więdnąć. Powoduje to wydzielanie enzymów, które rozkładają komórkową maszynerię liścia, zmieniając przy tym barwę chlorofilu na brązową, a później na czarną. Jeśli zdarzyło się wam zostawić liściaste warzywa zbyt długo w lodówce, mogliście zaobserwować podobny proces.

Herbatę zieloną produkuje się, podgrzewając liście natychmiast po ich zerwaniu. Temperatura dezaktywuje enzymy, chroniąc chlorofil, a więc i zieloną barwę. Często listki następnie się zwija, co prowadzi

do uszkodzenia ścianek komórkowych, dzięki czemu łatwo uwalniają się cząsteczki nadające naparowi aromat. Na wachlarz smakowy zielonej herbaty składają się cierpkość polifenoli (składnik tanin, pamiętacie opowieść o winie?), gorzkość, za którą odpowiadają molekuły kofeiny, słodycz pochodząca z cukrów, jedwabistość pektyn, mięsisty, bulionowy posmak aminokwasów oraz bukiet olejów aromatycznych. Staranne wyważenie wszystkich tych elementów – nie zaś próba maksymalnego uwypuklenia każdego z nich – owocuje powstaniem znakomitej filiżanki herbaty.

Czarną herbatę wytwarza się z liści tej samej rośliny co zieloną, tyle że inaczej przygotowanych. Po zwiędnięciu zostają zwinięte, a zawarte w nich enzymy niszczą strukturę komórek w toku reakcji z obecnym w powietrzu tlenem. Proces ten, zwany oksydacją, odpowiada za zmianę koloru liści z zielonego na ciemnobrązowy oraz powstanie innego zestawu cząsteczek aromatycznych. Wiele polifenoli, w tym gorzkie taniny, przeobraża się w cząsteczki nadające napojowi bardziej wytrawne lub owocowe smaki. Ponieważ molekuły te powstają wskutek oksydacji, nie grozi im szybka degradacja podczas reakcji z tlenem. Po wysuszeniu czarną herbatę można więc przechowywać dłużej niż zieloną bez szkody dla aromatu.

Możecie pomyśleć, że wszystko gotowe. Wystarczy zalać wodą liście o jak najlepszym smaku, żeby cieszyć się odświeżającym naparem. Herbatę można jednak bardzo łatwo zepsuć. Inne zawierające kofeinę napoje, takie jak coca-cola, będą smakowały zawsze tak samo, bez względu na to, gdzie i kiedy się je pije. Ich proces produkcyjny jest ściśle kontrolowany w fabryce, a sposób przechowywania czy transport nie wpływają zbytnio na smak napoju, tym samym wykluczono więc wiele czynników, które mogłyby go pogorszyć. Colę moż-

na podać w złej temperaturze (choć zależy to także od oczekiwań pijącego) lub w niewłaściwej szklance (tu też dochodzą do głosu osobiste preferencje), lecz jej skład chemiczny pozostanie praktycznie taki sam przy każdym zamówieniu. Wynalazcy od dawna starają się uzyskać podobną jednorodność smaku herbaty: ekstrahują jej aromaty, by stworzyć błyskawiczny napój z automatu. Póki co, tego typu wynalazki jeszcze się nie upowszechniły, być może dlatego, że w smaku w ogóle nie przypominają odświeżającej herbaty. Uważa się bowiem, że wiele ważnych związków chemicznych, które decydują o jej wyjątkowym charakterze, rozpada się i znika krótko po zaparzeniu.

Syrop herbaciany na sklepowej półce

George Orwell, autor klasycznych powieści z gatunku fikcji politycznej – *Rok 1984* i *Folwark zwierzęcy* – tak bardzo przejął się problemem źle parzonej herbaty, że napisał na ten temat felieton, w którym podał jedenaście zasad przyrządzania doskonałej filiżanki tego napoju. Pisał między innymi, że trzeba go parzyć w imbryku, że najpierw należy ten imbryk podgrzać, a mleko dodawać już po wlaniu

naparu do filiżanki. Nauka nie udziela ostatecznej odpowiedzi, jak przygotować idealną herbatę, ale potwierdza zasadność niektórych reguł Orwella. Istnieją cztery najważniejsze zmienne, które znacząco wpływają na smak herbaty: jakość liści, jakość wody, temperatura parzenia oraz czas jego trwania.

Aromat naparu zależy od aromatu liści, ale jest tu pewien kruczek. O ile przyjąć założenie – z którym Orwell się nie zgadza – że najlepsza herbata to taka, która najbardziej nam smakuje, wówczas, jeśli lubimy zaparzajkę z torebek, pewnie nie docenimy niezwykle aromatycznej i niesamowicie drogiej Da Hong Pao. Przekonanie o jakości – czy to herbaty, czy wina, czy większości innych rzeczy – jest w gruncie rzeczy subiektywne. Jednocześnie, jeśli ktoś nie miał okazji spróbować szerokiego wachlarza rozmaitych odmian herbaty (a jest ich około tysiąca), mógł po prostu nie poznać swojej ulubionej. Pod względem złożoności profilu smakowego herbata dorównuje winu, a jej wysokie ceny w pewnej mierze to odzwierciedlają. Jest też jednak narażona na wpływ snobistycznego myślenia, jakie spotyka się w branży winnej, gdzie trudna dostępność towaru i zabiegi marketingowe przekonują nabywców o wysokiej jakości towaru. W dodatku rodzajów herbat jest tak wiele – od zielonej, przez oolong, po południowoamerykańską yerba mate i czarne herbaty ze Sri Lanki – że rozpoznanie własnych upodobań może zająć bardzo dużo czasu. W moim przypadku to, czym jest doskonała filiżanka herbaty, zmienia się w ciągu dnia. Rankiem, tuż po przebudzeniu, lubię mocną z mlekiem – pokrzepia mnie i pobudza przy śniadaniu, lecz nie wymaga skupienia na aromacie. Po południu wolę earl grey – subtelna kombinacja smaków cytrusowych i bergamotki ożywia podczas nużących, szarych deszczowych dni.

Zastanawiałem się, jaką herbatę lubi Susan, jeśli w ogóle jakąkolwiek – mogła przecież wcale jej nie pijać. Mam kłopot z takimi ludźmi – nigdy nie wiem, co podać, kiedy przychodzą w gości. „Czy masz ochotę na filiżankę herbaty?" – to najcieplejsze z powitań, jakie znam. Czasem wypowiadam je wręcz machinalnie, zanim jeszcze gość zdąży zamknąć drzwi. Ta propozycja brzmi trywialnie, ale ma wiele podtekstów. „Witaj w moim domu" – mówię w ten sposób – „chcę o ciebie zadbać". „Patrz, mam takie pyszne suszone listki, które zebrano i przetworzono tysiące kilometrów stąd w egzotycznym klimacie – ale jestem wyrafinowany, nie?" Cóż, ten ostatni komunikat brzmiał bardziej prawdziwie w XVIII wieku, kiedy herbata upowszechniała się w Wielkiej Brytanii. Od tamtego czasu podanie filiżanki tego naparu stało się standardowym powitalnym rytuałem Brytyjczyków, mocniej utrwalonym niż całowanie się, podanie ręki, uścisk czy jakikolwiek z innych, co bardziej intymnych obyczajów obowiązujących w pozostałych krajach świata. To dlatego George Orwell nalegał na stosowanie imbryka. Jest to bowiem nie tylko naczynie do zaparzania, ale i namacalny symbol dzielenia się własnymi dobrami w sercu domostwa. Troska i uwaga, z jaką się z nim obchodzimy, plusk nalewanej wody, estetyczny wygląd naczynia, czas spędzony na parzeniu, a także rozstawianie filiżanek to elementy większej ceremonii.

Podczas herbacianego obrzędu powitalnego trzeba korzystać z dobrej wody, co wydaje się oczywiste, ale nawet Orwell o tym nie wspomniał. Ponieważ woda jest głównym składnikiem naparu, nietrudno się domyślić, że w znacznej mierze zadecyduje o jego aromacie. Jej smak zmienia się zależnie od miejsca pochodzenia. Znaczne różnice między wodą źródlaną a kranówką są oczywiste, lecz ta druga także

może rozmaicie smakować. Skład mineralny i organiczny oraz zawartość chloru lub innych dodatków to główne czynniki wpływające na smak i zapach wody. Jeśli chcecie zaparzyć herbatę o żywym smaku, użyjcie wody odrobinę zmineralizowanej. Czysta, destylowana woda smakuje płasko. Zbyt wysoka zawartość minerałów w wodzie też nie da dobrych efektów, ponieważ ich smak zdominuje herbaciane aromaty. To samo stanie się w przypadku wody mocno chlorowanej. Zwykła kranówka przeważnie dobrze spełni swoje zadanie, o ile ma neutralny odczyn pH. Wodę kwaśną często cechuje metaliczny posmak rur, którymi płynie, natomiast zasadowa smakuje mydłem. Stęchliznę powodują zwykle produkty uboczne mikroorganizmów. Bywa też tak, zwłaszcza rano, że woda długo stoi w rurach. Jeśli hydraulika domu jest stara lub wykonana z pewnych rodzajów metali bądź też oddziaływała na nią woda o kwaśnym odczynie, wskutek śladowej korozji jej smak będzie wydawał się dziwny. W takim wypadku trzeba po prostu spuścić trochę wody przed napełnieniem czajnika. Jeżeli mieszkacie w okolicy, gdzie woda jest „twarda” – to znaczy zawiera dużo wapnia z powodu geologicznych uwarunkowań terenu – jony tego pierwiastka połączą się z organicznymi cząsteczkami herbaty, tworząc na powierzchni napoju błonę. Taki kożuch wygląda nieapetycznie i może zepsuć ceremonię powitalną. By się go pozbyć, można przefiltrować wodę lub użyć imbryka, w którym błona osiądzie na wewnętrznych ściankach, zamiast zbierać się na powierzchni naparu.

Gdy już dysponujecie odpowiednią wodą, musicie ją zagotować. Od temperatury zależy, które cząsteczki aromatyczne się rozpuszczą, co zadecyduje o profilu smakowo-zapachowym oraz barwie herbaty. W zbyt niskiej temperaturze nie uwolnią się wszystkie molekuły, przez co napar będzie pozbawiony nie tylko wyraźnego smaku, ale i koloru.

Lecz zbyt gorący wrzątek także zepsuje efekt: gdy w herbacie znajdzie się nadmiar tanin i polifenoli, stanie się gorzka i cierpka. Zwłaszcza herbaty zielone, które obfitują w te związki, należy parzyć w temperaturze między 70 a 80°C, by nie nabrały nieprzyjemnej goryczy ani nie wykręcały ust od cierpkości.

Kofeina jest bardzo gorzką cząsteczką, która nie rozpuszcza się łatwo w wodzie. By uzyskać herbatę o jej wysokim stężeniu, przygotujcie bardzo gorący wrzątek. Ponieważ czarna herbata przeszła proces oksydacji, podczas którego utraciła sporo tanin i polifenoli, po zaparzeniu w wysokiej temperaturze otrzymacie napój o wysokiej zawartości kofeiny, a jednocześnie nie nazbyt gorzki. Filiżanka czarnej herbaty zaparzana przez pięć minut w 100°C zyska mocny aromat, a stężenie kofeiny wyniesie w niej około 50 miligramów (w filiżance kawy jest to 100 miligramów). W samolocie trudno to jednak zrobić. Na wysokości 12 kilometrów ciśnienie w kabinie jest niższe niż na poziomie morza, co sprawia, że woda wrze w niższej temperaturze, a to wpływa na smak naparu. Jednak w parzeniu herbaty nie liczy się wyłącznie początkowa temperatura wody. Aby molekuły nadające herbacie smak i barwę mogły się rozpuścić, liście muszą trochę poleżeć w wodzie. Jeśli jej temperatura w tym czasie znacznie spadnie, mniej cząsteczek wzbogaci napar. Tak może się zdarzyć podczas przygotowywania napoju w zimnym miejscu lub jeśli naczynie do zaparzania jest chłodne, ponieważ wtedy gorąca woda ogrzewa imbryk i traci ciepło. To dlatego George Orwell instruował, by przed wsypaniem herbaty ogrzać naczynie. Można też spróbować nadrobić stratę temperatury, parząc herbatę dłużej, lecz w ten sposób nigdy nie uzyska się zbalansowanego stosunku nut słonych, słodkich, gorzkich, kwaśnych i umami, nie wspominając o uwolnieniu tysięcy rozmaitych substan-

cji lotnych, nadających złożoność aromatowi doskonale zaparzonej filiżanki herbaty.

Z herbatą sprawa nie jest prosta: ponieważ na jej wyrafinowany profil smakowy może wpłynąć mnóstwo różnych czynników (odmiana krzewu, jakość i temperatura wody, czas parzenia), łatwo coś przeoczyć i otrzymać napar o zupełnie innym smaku, niż się spodziewaliśmy. I tak się właśnie stało podczas przyrządzania herbaty, którą właśnie piłem. Obsługa naprawdę się starała: niższą temperaturę wrzenia wody w samolocie skompensowała dłuższym czasem parzenia, użyła też wstępnie ogrzanego, wysokiego dzbanka z nierdzewnej stali, który przez cały czas utrzymuje wysoką temperaturę. Jednak steward dotarł do mnie ze swoim wózkiem około kwadransa od zalania herbaty wrzątkiem, a przez ten czas napar z sekundy na sekundę tracił temperaturę i aromat. Gdy w końcu trafił do mojego plastikowego kubka, owocowe i liściaste nuty w większości się ulotniły. Czułem bulionowe posmaki umami, lecz płyn był chłodny, gorzki i kwaskowaty, przeniknięty wyraźną wonią plastiku. Nie doznałem pokrzepiającego odświeżenia, na jakie liczyłem. Wprost przeciwnie – herbata była prawie obrzydliwa. Nie powinienem był jej zamawiać.

Zaraz jednak popełniłem kolejny błąd. Uznałem, że może uda mi się uratować rozczarowujący, nudny, brązowy płyn, wlewając do niego zawartość jednego z okrągłych pojemniczków z mlekiem, które podano mi w zestawie. Otworzyłem go i wlałem zawartość do kubka, po czym zamieszałem roztwór polistyrenowym patyczkiem. Kolor naparu zmienił się z ciemnobrązowego na bardzo przyjemny mlecznobeżowy. Lubię herbatę z mlekiem. Mleko krowie jest słodkie i zawiera sporo soli oraz tłuszczu. Ten ostatni występuje w postaci miniaturowych kropelek o wielkości około jednej tysięcznej milimetra i nadaje

mleku aromat oraz treściwość. Kiedy wlewa się je do herbaty, kropelki tłuszczu rozprzestrzeniają się, znacznie zmieniając barwę i smak napoju. Przydają mu słodowych, niemal karmelowych nut, a przy tym niwelują naturalną cierpkość herbaty, obdarzając ją kremową fakturą. Ponadto absorbują większość herbacianych molekuł aromatycznych, przez co napój traci smaki owocowe i goryczkę, lecz w zamian staje się gładszy.

Decyzja o tym, kiedy należy dodać mleko do herbaty, budzi w Wielkiej Brytanii ogromne emocje. Jedni przekonują, że trzeba je wlewać jako pierwsze, a swoje stanowisko uzasadniają tym, że kropelki mleka będą ogrzewać się stopniowo w miarę napełniania naczynia gorącą herbatą, dzięki czemu zawarte w mleku białka nie osiągną temperatury, w której zmienia się ich struktura molekularna i ulegają denaturacji, co nadaje napojowi nieprzyjemny serkowy posmak. Inni twierdzą ponadto, że wlanie mleka chroni ceramiczne naczynia przed spękaniem wskutek nagłego kontaktu z gorącym płynem. Jeśli nawet dawniej faktycznie tak było, nowoczesna ceramika jest znacznie bardziej odporna. Dla wielu osób wlanie mleka przed herbatą to jednak czyste bluźnierstwo – do ich idealnej filiżanki herbaty liściasty napar trafia jako pierwszy, dopiero po nim mleko. Do tego obozu należał George Orwell, który uważał, że dzięki takiemu postępowaniu można precyzyjnie odmierzyć pożądaną ilość mleka i zdecydować, jak bardzo kremowy ma być napój.

Być może uznacie, że moment dodania mleka nie ma znaczenia, bo i tak nie wpłynie to w wyczuwalny sposób na smak. Ronald Fisher w książce *The Design of Experiments* dokładnie przebadał ten problem, wynajdując w tym celu nowe metody statystyczne. Po przeprowadzeniu eksperymentów degustacyjnych na losowej próbie osób odkrył, że

ludzie naprawdę potrafią wyczuć różnicę w smaku między mlekiem zalanym herbatą a herbatą z dolanym mlekiem.

Metody opisane przez Fishera zrewolucjonizowały dyscyplinę statystyki matematycznej. Niestety, nie wpłynęły w podobny sposób na metody parzenia herbaty w Wielkiej Brytanii, więc dziś w prawie żadnej kawiarni nie przywiązuje się wagi do kolejności dodawania mleka, sądząc, że to bez znaczenia. Bardzo mnie to drażni. Często na przykład w barach przy stacjach kolejowych obsługa zanurza torebkę we wrzątku i zaraz potem wlewa mleko, po czym podaje klientowi taki napój bez śladu zażenowania: wszystkie składniki są na miejscu, więc to musi być dobra herbata. „Nie spytała mnie pani, czy chcę, żeby mleko wlać najpierw, czy potem" – mówię czasem w takiej sytuacji, kiedy czara goryczy się we mnie przelewa. Nie żeby zależało mi na zalewaniu mleka herbatą. Jestem podobnego zdania co George Orwell – wolę mleko dodane później. Mimo wszystko chciałbym mieć możliwość wyboru. I jestem pewny, że Orwell zgodziłby się ze mną – dziś tradycja parzenia herbaty sięgnęła w Wielkiej Brytanii dna. Herbata wciąż pozostaje naszym narodowym napojem, ale jeśli tak dalej pójdzie, może ją zastąpić kawa, ponieważ w przeciwieństwie do herbaty jej jakość w brytyjskich kawiarniach w ciągu ostatnich kilku dekad znacznie się poprawiła, a stało się tak za sprawą pewnego technicznego wynalazku: ekspresu ciśnieniowego.

Kawa, którą piła moja sąsiadka Susan, zaczęła życie w bardziej tropikalnych warunkach niż moja herbata. Jej krzewy rosną w lasach Brazylii czy Gwatemali, gdzie występują wysokie temperatury i obfite opady. Rośliny te, podobnie jak krzewy herbaciane, również wykształciły w toku ewolucji systemy obrony chemicznej przeciw pożarciu przez zwierzęta i owady: wydzielają silne alkaloidy, takie jak kofe-

ina, zdolne zakłócić metabolizm zwierzęcia. Jej gorzki smak jest sygnałem, który ostrzega nas, że mamy do czynienia z trucizną, jednak w przypadku kawy lekceważymy tę przestrogę. Dlaczego? Pewnie dlatego, że polubiliśmy wpływ kofeiny – a także innych naturalnie występujących alkaloidów, takich jak nikotyna, morfina i kokaina – na nasz organizm. Spośród wszystkich tych substancji psychoaktywnych kofeinę spożywa się najpowszechniej. Pobudza ona układ nerwowy, uwalnia nas od senności i wyostrza uwagę. Jest także diuretykiem, to znaczy zwiększa produkcję moczu. Skutek tego jest taki, że po wypiciu mocnej kawy musimy częściej odwiedzać toaletę. W wysokich dawkach kofeina może powodować bezsenność i niepokój. Podobnie jak alkohol trafia bezpośrednio do krwiobiegu, więc skutki jej działania są odczuwalne natychmiast. I – tak jak inne alkaloidy – uzależnia. Gdy zacznie się ją regularnie spożywać, bardzo trudno przestać. Objawy odstawieniowe bywają bardzo dokuczliwe i obejmują bóle głowy, poczucie zmęczenia, rozdrażnienie i senność.

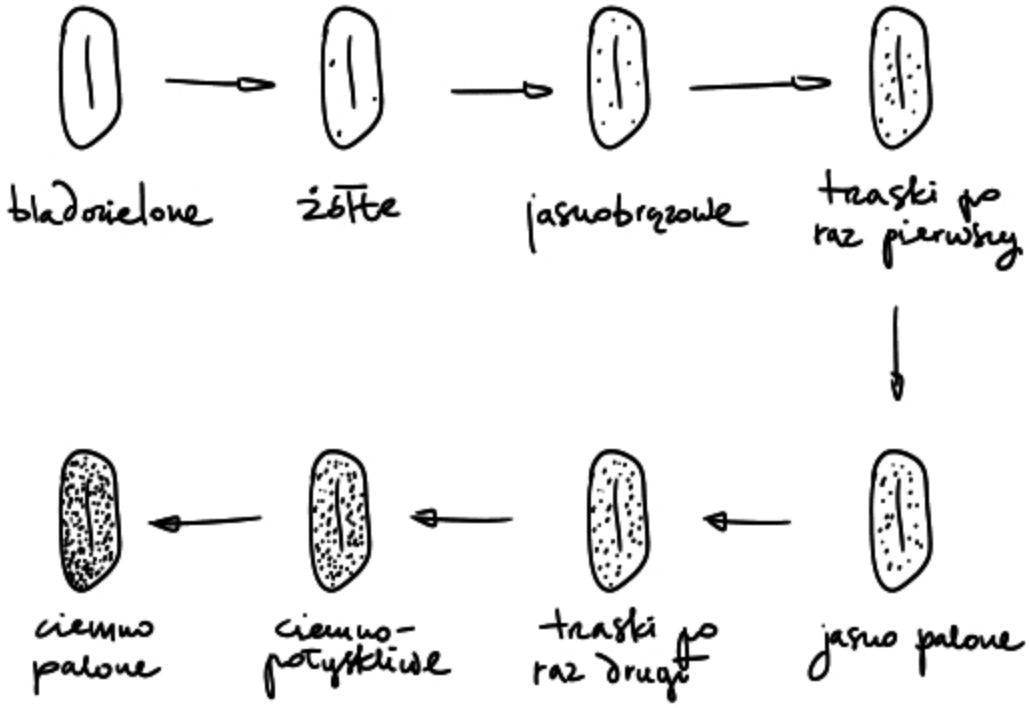
Kawa, którą pijemy, powstaje ze zmielonych nasion krzewu kawowca. Zawierają one wiele węglowodanów w postaci cukrów, dających nasionom energię do wytwarzania nowych pędów. W ziarenku znajdują się także białka, które stanowią podstawową maszynerię molekularną rośliny i zawierają instrukcje dotyczące procesu reprodukcyjnego, podczas którego powstaje nowy krzew. Gdy ziarno dojrzeje, zrywa się je, poddaje fermentacji, oddziela od pulpy i suszy. Następny krok to palenie. Na tym etapie wykształca się ogromny wachlarz aromatów kawy. Ziarna można wypalać nawet w domu i sam dawniej tak robiłem. Kupowałem je w stanie surowym od miejscowego dostawcy, po czym wkładałem do sita ze stali nierdzewnej i na chwilę poddawałem działaniu strumienia gorącego powietrza z opa-

larki, nieustannie potrząsając sitem. Wypalenie porcji ziaren na filiżankę kawy zajmowało mi około pięciu minut. Jeśli kochacie kawę, spróbujcie tego sposobu – wiele się wówczas dowiecie o tym napoju.

Wypalanie kawy przy użyciu opalarki na gorące powietrze

Pierwsze, co rzuca się w oczy podczas wypalania, to zmiana barwy ziaren. Najpierw zrobią się żółte – to obecny w nich cukier ulega kar-

melizacji. Później woda zawarta w ziarenkach zacznie wrzeć i wskutek wzrostu ciśnienia popękają z trzaskiem. Po kolejnych kilku chwilach ich molekularne składniki zaczną się rozpadać, a także reagować z sobą. W tym wypadku ciepło pełni całkiem inną funkcję niż podczas procesu obróbki liści herbacianych, kiedy jego rola polega przede wszystkim na zatrzymaniu reakcji chemicznych. Wypalanie ma natomiast zapoczątkować reakcje, podczas których ziarno zyskuje najwięcej aromatu, zwłaszcza zachodzącą między białkami a węglowodanami reakcję Maillarda. Dochodzi do niej, gdy ziarno osiąga temperaturę między 160 a 220°C. Powstaje wówczas szeroka gama cząsteczek aromatycznych, które natychmiast daje się wyczuć – ziarna zaczynają wydzielać charakterystyczny zapach kawy i nabierać pełnego smaku. Wskutek tej samej reakcji powstaje delikatna skórka na wypiekanym chlebie i smakowita chrupka warstewka na smażonym lub pieczonym steku. Barwa ziarna zmienia się z żółtej na brązową i wydziela się dwutlenek węgla, który później stanie się cremą – pianką na powierzchni filiżanki kawy. W tym momencie słychać także trzaski pękającej wewnętrznej struktury ziarenek, zwiększających objętość pod wpływem gromadzącego się w nich gazu.



Zmiana koloru ziarna podczas wypalania

Jeśli wypalanie potrwa jeszcze dłużej, ziarna z brązowych zrobią się ciemnobrązowe – to rozpadają się kwasy i taniny, a profil smakowy nabiera subtelności. Słychać wówczas kolejną serię trzasków – wewnętrzna struktura ziaren nabiera kruchości i słabnie. Można także dostrzec drobinki wypływającego na powierzchnię oleju, który stanowi około 15 procent wagi ziarna i nadaje mu połysk charakterystyczny dla kawy w stylu francuskim. Dalsze wypalanie da jeszcze bardziej lśniące, lecz zarazem nie tak smaczne ziarno: w wysokiej temperaturze molekuły rozpadają się na struktury mniejsze i mniej aromatyczne. Zanika też sporo rozpuszczalnych węglowodanów, które odpowiadają za syropowatą konsystencję napoju. Ogólnie rzecz biorąc – im ciemniejsze ziarno, tym bardziej banalny i prosty jego

profil aromatyczny.

Wypalając kawę samodzielnie, możecie wypróbowywać różne profile aromatyczne, aż znajdziecie styl idealnie dopasowany do waszych upodobań. Mnie domowe wypalanie nauczyło wielkiego szacunku dla wytwórców kawy. Nawet posługując się tylko dwoma pozornie prostymi czynnikami – temperaturą i czasem palenia – można z jednego rodzaju ziarna uzyskać ogromny wachlarz aromatów.

Po wypaleniu trzeba smak ziaren jakoś przenieść do filiżanki. Najwcześniejsze znane sposoby mielenia i parzenia kawy wymyślono w XV wieku w Jemenie. Tamtejsze arabskie społeczności rozgniatały ziarno w moździerzu, zalewały je chłodną wodą, po czym gotowały taką mieszankę. Na Bliskim Wschodzie wciąż często przygotowuje się kawę w ten sposób i jest to tak zwana kawa po turecku. Powstaje bardzo mocny, ciemny napar, zawierający nie tylko składniki aromatyczne, lecz także same zmielone ziarna, co nadaje napojowi aksamitną fakturę. Kiedy jednak w filiżance pozostaje już niewiele kawy, można się natknąć na osiadłe w mułku przy dnie większe kawałki, które chrzęszczą w zębach. Taka kawa jest też dość gorzka: w temperaturze wrzenia wiele gorzkich cząsteczek, takich jak kofeina, łatwo rozpuszcza się w wodzie. By temu zaradzić, amatorzy kawy po turecku dodają do niej dużo cukru i powstaje gorzko-słodki napój o wysokim stężeniu kofeiny. Nie ma nic lepszego, jeśli zależy wam na mocnym strzale aromatu i nokautującym uderzeniu cukru oraz kofeiny. Taka kawa daje sporą przyjemność, jednak zaparzanie metodą po turecku pozbawia ją wielu owocowych aromatów, które powstają podczas fermentacji ziaren, oraz nut orzechowych i czekoladowych, których ziarno nabiera w procesie wypalania.

W ten sposób przechodzimy do jednego z największych problemów

związanych z kawą – napar często lepiej pachnie, niż smakuje. Czemu tak jest? Otóż wiele związków eterycznych, które powinny się uwolnić dopiero w ustach pijącego, zdążyło już ulecieć w powietrze podczas zaparzania, a w filiżance nad aromatami dominują związki gorzkie i kwaśne. By nie utracić tych pierwszych, lepiej wypalać ziarno w niższej temperaturze. Ogranicza to także gorzki smak oraz zawartość kofeiny.

O ile aksamitna faktura kawy po turecku może sprawiać sporo satysfakcji, ostatnie, pełne mułku łyki nie są wcale przyjemne. Oddzielenie zmielonych ziaren od płynu stało się więc ważnym elementem w procesie przygotowywania kawy – i oto na scenę wkracza filtr. Przy jego użyciu zalana wrzątkiem kawa zaparza się w gorącej wodzie, lecz gdy płyn ścieka do naczynia, drobno zmielone ziarna pozostają na wykonanym z siateczki lub papieru filtrze. Szybkość tego procesu zależy od tempa przepływu wody przez przemiał. Gdy jest go zbyt wiele lub jest zbyt drobny, woda potrzebuje dużo czasu, by go przeniknąć, a wówczas traci ciepło i nie jest w stanie wydobyć wszystkich molekuł, które nadają napojowi aromat. Podobnie jeśli użyje się zbyt dużo wody lub zbyt grubo zmielonego ziarna, otrzymamy kawę słabą, o niepełnym smaku i nadmiernej kwasowości, ponieważ wrzątek nie będzie odpowiednio długo oddziaływał na ziarna.

Jeśli jednak wszystko zrobicie prawidłowo, dzięki filtrowaniu otrzymacie ciepły imbryk pełen klarownej, złocistej, pozbawionej fusów kawy. Zabraknie na niej jednak cremy. Wiele osób uważa filiżankę kawy za doskonałą tylko wtedy, gdy na jej powierzchni widać cremę – piankę tworzącą się z dwutlenku węgla, który powstaje podczas wypalania ziaren, a uwalnia się w trakcie parzenia. W procesie filtrowania cały dwutlenek węgla ulatuje. Ale nie szkodzi – przez minione

cztery wieki wynaleziono wiele innych metod parzenia kawy, które pozwalają zachować cremę: można ją przyrządzać w kafeterce, zwanej też makinetką lub moką, zaparzaczce typu French press i oczywiście w ekspresie ciśnieniowym.

Poza tym, że French press zachowuje cremę, parzy się w nim kawę szybciej niż przy użyciu filtra, ponieważ przemiał zalewa się wrzątkiem o temperaturze około 100°C, która podczas trwającego kilka minut parzenia spada do około 70°C (jeszcze dłuższe zaparzanie nie wzbogaca kawy o dodatkowe aromaty, lecz jedynie wzmacnia gorzki smak). Początkowo, gdy wrzątek styka się z powierzchnią zmielonych ziaren, cząsteczki aromatyczne szybko się uwalniają, lecz wraz ze spadkiem temperatury wodzie jest coraz trudniej penetrować wnętrze drobinek. Wówczas z ziaren uchodzi dwutlenek węgla i powstaje crema. Gdy napar jest już gotowy, wystarczy wcisnąć filtr w postaci tłoka, który zbiera fusy na dnie naczynia. Teraz trzeba szybko rozlać kawę do filiżanek – będzie zbalansowana i gorąca z piękną cremą na powierzchni. By otrzymać napój mocniejszy, lecz nie bardziej gorzki, można zaparzyć większą ilość grubiej zmielonych ziaren lub mniejszą zmielonych drobno. W tym drugim przypadku proszek może jednak przeniknąć przez filtr do napoju, natomiast w pierwszym – z takich ziaren trudniej jest wydobyć aromat.

By uniknąć podobnych problemów, można użyć kafeterki. W urządzeniu tym woda znajduje się w osobnym, szczelnym pojemniku i nie styka się ze zmielonymi ziarnami. Podczas podgrzewania powstaje gorąca para, która wytwarza w naczyniu ciśnienie mniej więcej półtora razy większe niż atmosferyczne. Pod jego wpływem woda przeciska się przez sitko ze zmielonymi ziarnami i trafia do położonego wyżej naczynia na napar. Kawa z kafeterki jest znacznie bardziej aroma-

tyczna niż ta zaparzona przy użyciu French pressu lub filtra, i dość mocna. Jej wadą jest to, że wraz z ubywaniem wody z dolnej komory przez przemiał zaczyna przechodzić także bardzo gorąca para, która uwalnia z ziaren dużo goryczy i często zaprawia napój nutą spalenizny.

Kafeterka do zaparzania kawy

Ekspres ciśnieniowy to zaawansowana kafeterka. Przy jego użyciu powstaje najbardziej zbalansowana i zdaniem niektórych najsmaczniejsza kawa, jaką można zaparzyć. Urządzenie zawdzięcza swą nazwę temu, że cały proces parzenia trwa w nim trzydzieści sekund. Ekspres podgrzewa wodę do temperatury od 88 do 92°C, poddaje ją działaniu ogromnego ciśnienia rzędu 9 atmosfer, po czym przepuszcza przez zmielone ziarna kawy. Pod wpływem ciśnienia uwalnia się najwięcej aromatów, a ponieważ maszyna nie opiera swojego działania na parze, kawa nie jest nadmiernie gorzka ani cierpka. Proces parzenia trwa bardzo krótko, substancje lotne nie mają więc czasu wywietrzeć. Powstaje napój o bogatym, zrównoważonym smaku: zawiera orzechowe i ziemiste nuty, wydziela dojrzałe owocowe, kwaskowate aromaty, a przy tym jest cierpki niczym wino.

Ponieważ w ekspresie ciśnieniowym kawa powstaje w ściśle kontrolowanych warunkach, jest równie znakomita za każdym razem i można się nią cieszyć prawie natychmiast. Dlatego właśnie urządzenia takie stosuje się w większości kawiarń, gdzie niemal bez końca dostarczają kolejnych filiżanek kawy. Najprostsza wersja naparu z ekspresu ciśnieniowego nazywa się espresso. Po dolaniu wrzątku otrzymujemy americano. Gdy doda się w jednakowej ilości gorącego mleka i mlecznej piany, powstanie flat white. Jeśli użyje się tylko piany, wyjdzie cappuccino – i tak dalej. Podobnie jak w przypadku herbaty, mleko zasadniczo zmienia profil smakowy kawy – zmniejsza jej cierpkość, lecz także wyrazistość aromatów, wzbogacając napój o słodowe, śmietankowe nuty.

W samolotach pasażerom pierwszej klasy podaje się kawę z małego ekspresu ciśnieniowego, wszyscy inni dostają wersję z filtra. Z powodu mniejszego ciśnienia w kabinie woda wrze przy 92°C, co zrządze-

niem losu jest idealną temperaturą do parzenia kawy. Jednak kawa, która między parzeniem a chwilą podania pozostaje gorąca zbyt długo, jak to się może zdarzyć w samolocie lub biurze, traci wiele aromatu, dominują w niej zaś gorycz i cierpkość.

To jednak nie jedyny problem, który nie pozwala nam się cieszyć ni to letnią, ni to gorącą kawą w samolocie. Badania wskazują, że na naszą zdolność rozpoznawania pięciu podstawowych smaków – słodkiego, kwaśnego, słonego, gorzkiego i umami – wpływają panujący w samolocie hałas oraz nasz zmysł powonienia. W samolocie nie potrafimy więc rozkoszować się zniuansowanymi smakami kawy tak samo jak na lądzie. Moje lotnicze doświadczenia potwierdzają tę tezę. Na pokładzie kawa nigdy nie smakuje mi tak, jakbym chciał.

Więc który napój jest lepszy – kawa czy herbata? Każdy z nich pasuje do innych sytuacji. Zdarza się jednak i tak – na przykład podczas lotu klasą ekonomiczną – że nawet jeśli dany napój świetnie odpowiada naszemu bieżącemu nastrojowi, szansa na wypicie naprawdę dobrej filiżanki jest znikoma, a wtedy po prostu najlepiej z niej zrezygnować. Piszę te słowa właściwie jako uwagę do samego siebie. Moja herbata smakowała paskudnie – zaparzono ją nie dość gorącą wodą, pochodziła z torebki, wystygła, gdy wózek do mnie jechał, czuć ją było plastikowym kubkiem, a panujący w kabinie hałas do tego stopnia stępił moje zmysły, że przytłumił jej okropny smak. Od początku było jasne, że nie wprawi mnie w kontemplacyjny nastrój, na jaki liczyłem. Powinienem był zamówić kawę. Jej podstawowe smaki są wyrazistsze, więc skuteczniej opierają się kakofonii wnętrza, temperatura parzenia lepiej pasuje do warunków panujących na wysokości 12 kilometrów, a stosowana w samolotach metoda filtrowania pozwala wydobyć z napoju zbalansowany, choć nie najpełniejszy smak.

Zauważyłem, że Susan skończyła kawę i poprosiła stewarda, który z uniesionymi brwiami rozglądał się po kabinie, o kolejną. Gdy siedzi się przy oknie, wyjście do toalety sprawia problem, ale – może pod wpływem moczopędnego działania kofeiny – nie mogłem już dłużej wytrzymać i pomyślałem, że jeśli przecisnę się obok Susan, nim ta postawi na tacy przed sobą nową kawę, zdołam ostatecznie pożegnać się z okropną herbatą. Zasygnalizowałem jej gestem, że chciałbym przejść. Susan wstała, a ja na zesztywniałych nogach ruszyłem przejściem między rzędami foteli ku delikatnie podświetlonemu zielonemu znakowi z napisem „WC”.

Oczyszczająca

Niezdarnie szedłem w stronę toalety, czując się bardzo niepewnie – coś strzykało mi w niegdyś uszkodzonym kolanie i chwiałem się od czasu do czasu, gdy samolot przechylał się w locie przez stratosferę. Inni pasażerowie, poprzykrywani kocami, przysypiali albo wpatrywali się w ciekłokrystaliczne wyświetlacze, ja zaś zerkałem, co takiego oglądają: śpiewająca na scenie kobieta, poważny sędzia w peruce na sali sądowej, skaczący Spider-Man. Niektórzy drzemali, inni, z twarzą oświetloną blaskiem monitora, stukali w klawisze laptopów. W końcu dowlokłem się do ubikacji, ale wszystkie były zajęte i musiałem czekać w korytarzu, podczas gdy stewardzi przeciskali się obok mnie, obsługując pasażerów klasy biznesowej. Z zazdrością zerkałem przez lukę w zasłonce dzielącej obie klasy – zobaczyłem tam rozpartych w fotelach ludzi, którym usługiwano jak rzymskim cesarzom. W końcu usłyszałem trzask otwieranej zasuwki i zalało mnie jasne światło z wnętrza toalety. Jakiś mężczyzna opuścił ją szybkim, niecierpliwym krokiem. Czyżbym dostrzegł na jego twarzy przepraszający wyraz? Przygotowałem się wewnętrznie na paskudny zapach i wszedłem do kabinki, ale z ulgą stwierdziłem, że nie czuć nic szczególnego poza chemiczną wonią cytrynowego odświeżacza.

Uniosłem sedes, wysikałem się porządnie, po czym wcisnąłem przycisk próżniowego mechanizmu wysysania nieczystości. Ta część zawsze wydaje mi się trochę groźna. Syki i huki trwają nieco za długo, jakby maszyneria mówiła: „E, co się gapisz? Ciebie też mogę wessać przez ten mały otwór”. Odwróciłem się do zlewu, by umyć ręce, i zo-

baczyłem dwa dozowniki. Wybrałem ten, którego zawartość najbardziej przypominała mydło, kilkakrotnie nacisnąłem guzik i przejrzysta, żółtawa ciecz trysnęła mi na dłoń. Nigdy nie lubiłem takich psikających dozowników. Przypominają mi małe zwierzę, które ze strachu obsikuje ręce tego, kto je podnosi.

Gdy byłem dzieckiem, mydła w płynie jeszcze nie wynaleziono. Używaliśmy zwykłego, w kostce. Było tak powszechne, że producenci umywalek przewidzieli na nie specjalne wgłębienie, by kostka nie ześlizgiwała się na podłogę lub do wnętrza zlewu. Teraz takie mydło spotyka się coraz rzadziej. Czy to postęp? Czy mydło w płynie rzeczywiście jest dużo lepsze niż w kostce? A może to tylko współczesna, napędzana reklamą moda, która przeminie jak płyty kompaktowe i rozszerzane spodnie?

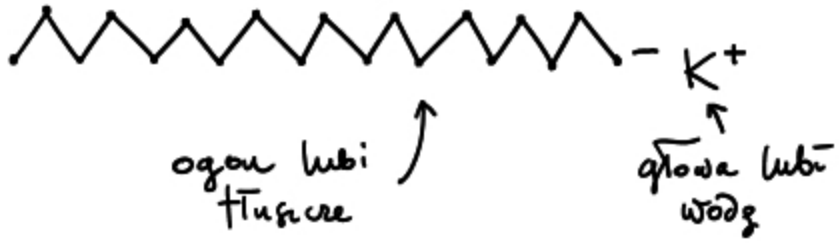
Trudno to ocenić, dopóki nie pozna się zalet i wad normalnego mydła. Mydło to cudowna substancja. Używanie nawet idealnie czystej gorącej wody nie pozwala się pozbyć oleistego, sadzowatego brudu z powierzchni skóry. Przez większą część dziejów nie bardzo nam to przeszkadzało. Ludzie śmierdzieli i chodzili brudni. Nikt się tym nie przejmował. Mieliśmy poważniejsze problemy i nikt nie myślał, że coś takiego jak mydło jest nam w ogóle potrzebne. Nie znaczy to, że ono nie istniało. Przepisy na zrobienie mydła znajdujemy na mezopotamskich tabliczkach z 2200 roku p.n.e., ale znano je na pewno jeszcze wcześniej. Opisywany przez Mezopotamczyków proces przypomina dzisiejszy: weź popiół drzewny, rozpuść go w wodzie, zagotuj roztwór z dodatkiem stopionego łoju – i w magiczny sposób powstanie najprostszy rodzaj mydła. Wówczas nie stosowano go jednak do mycia się, lecz do czyszczenia wełny przed tkaniem, ponieważ wymywało lanolinę – odmianę tłuszczu – z jej włókien.

Jeden z głównych składników łoju – cząsteczka zwana trójglicerydem. Ma trzy ogony, które można odciąć za pomocą zasady.

Jak to możliwe, że jeden tłuszcz zmywa inny? Sekret tkwi w wodzie z popiołem, na którą Arabowie mówili *al-kali*, co znaczy „powstały z popiołu". Substancje alkaliczne, czyli zasadowe, są przeciwieństwem kwasów, obie te grupy cechują się zaś wysoką reaktywnością i potrafią przekształcać inne cząsteczki.

Tłuszcze, takie jak łój zwierzęcy, składają się z atomów węgla oraz trójramiennych struktur chemicznych – glicerydów – które u jednego końca są związane atomami tlenu. To zupełnie inna konstrukcja niż w przypadku wody. Cząsteczki H_2O są nie tylko znacznie mniejsze niż trójglicerydy, lecz także polarne, co oznacza, że ładunki elektryczne nie są w nich rozłożone równomiernie – molekuła ma stronę ujemną i dodatnią. Dzięki polarności woda jest znakomitym rozpuszczalnikiem: przyciągana przez inne atomy lub cząsteczki, otacza je i pochłania. W ten sposób w wodzie rozpuszcza się sól, cukier czy alkohol. Jednak cząsteczki tłuszczu nie wykazują polarności, więc nie roz-

puszczają się w wodzie. Oliwa zawsze na wierzch wypływa.



Stearynian – aktywny składnik mydła – z obdarzoną ładunkiem elektrycznym głową, która lubi wodę, i węglowym ogonem, który lubi tłuszcz

Zasada wytworzona z popiołu drzewnego rozpada się natomiast na składniki dodatnie i ujemne, dzięki czemu rozpuszcza się w wodzie, a powstały roztwór reaguje chemicznie z cząsteczkami tłuszczu. W wyniku tego procesu trzy „ogony” trójglicerydów zostają ucięte i zyskują ładunek elektryczny. Tak powstają trzy molekuły mydła (tak zwane stearyniany). Co istotne, są to cząsteczki hybrydowe o naładowanej elektrycznie „głowie”, która łatwo rozpuszcza się w wodzie, oraz złożonym z węgla „ogonie” rozpuszczającym się w olejach. I właśnie z powodu swej dwoistej natury mydło jest dla nas tak użyteczne.

Gdy cząsteczki mydła spotykają kroplę oleju, węglowy ogon – dzięki ich chemicznemu podobieństwu – natychmiast się w niej zagłębia. Jednak naładowana mydlana głowa chce jak najszybciej uciec od oleju, więc po prostu wystaje z tłustej kropli. Kiedy w reakcji bierze

udział wiele cząsteczek mydła, tworzą strukturę molekularną przypominającą dmuchawiec: kroplę oleju otacza chmura mydlanych cząsteczek z wystającymi, obdarzonymi ładunkiem elektrycznym głowami.

Mydło zawdzięcza swoje właściwości myjące cząsteczkom substancji powierzchniowo czynnych, takim jak stearyniany. Lubiący tłuszcze ogon wnika w kroplę oleju, pozostawiając na zewnątrz lubiącą wodę głowę. Chmura takich głów otacza olej, co pozwala na jego rozpuszczenie w wodzie i oczyszczenie powierzchni

Kropla zyskuje w ten sposób naładowaną powierzchnię, a więc staje się polarna, dzięki czemu chętnie rozpuszcza się w wodzie. Oto sekret oczyszczających właściwości mydła – wskutek jego oddziaływania cząsteczki tłuszczów i olejów na dłoniach czy ubraniach rozpadają się na malutkie kuliste kropelki, które rozpuszczają się w wodzie i da-

ją łatwo zmyć.

Uczucie czystości i suchości po wymyciu rąk mydłem bierze się stąd, że mydło usuwa oleje ze skóry. Z kolei ono samo jest śliskie, ponieważ jest w gruncie rzeczy zmodyfikowanym tłuszczem. To dlatego tak łatwo wyślizguje się z ręki. Można go używać jako lubrykantu albo gdy próbujemy zdjąć obrączkę ze spuchniętego palca.

Po użyciu mydła powstaje specyficzny płyn: brudna woda, która nie zawiera wyłącznie brudu, lecz także kuleczki tłuszczu. To emulsja – zawiesina, w której jedna z cieczy jest rozproszona w drugiej w postaci bardzo drobnych kuleczek. Emulsje są bardzo użyteczne, ponieważ w wodzie można niejako „rozpuścić" wiele różnych rodzajów cieczy. Na przykład majonez to mocno stężona zawiesina oleju w wodzie w stosunku mniej więcej 3 do 1. Uzyskuje się ją, energicznie wstrząsając pomieszanymi cieczami aż do uzyskania żelowatej konsystencji. Gdyby jednak na tym poprzestać, składniki wkrótce znów oddzieliłyby się od siebie, bo, jak wiadomo, olej i woda się nie mieszają. Wystarczy jednak dodać przypominające mydło cząsteczki, które ustabilizują kropelki oleju. W przypadku majonezu pochodzą one z jajek. Żółtko zawiera substancję zwaną lecytyną, której struktura przypomina mydło (z lubiącym tłuszcze ogonem i lubiącą wodę głową). Po dodaniu go do wodno-olejowej mieszanki lecytyna wiąże wszystkie składniki i powstaje majonez. Żółtkiem można nawet umyć ręce jak mydłem – wiele przepisów na szampon uwzględnia je jako zasadniczy składnik czyszczący. Innym emulgatorem jest musztarda – dzięki niej z oleju i octu, które w normalnych warunkach się nie mieszają, powstaje sos winegret. Wszystkie te aktywne substancje działają na tej samej zasadzie i dlatego określa się je jednym mianem: to cząsteczki powierzchniowo czynne, czyli surfaktanty.

Mydło nie tylko usuwa oleje i tłuszcze, lecz także żyjące na nich bakterie. Mycie rąk mydłem to najskuteczniejszy sposób ochrony przed infekcjami bakteryjnymi i wirusowymi. Choć przynosi tak wiele korzyści i zostało tak dawno odkryte, wykorzystanie mydła do czyszczenia i utrzymywania higieny osobistej jest zjawiskiem współczesnym.

W dziejach ludzkości różne kultury rozmaicie podchodziły do używania mydła. Rzymianie raczej nie znajdowali dla niego zastosowania – najpierw ścierali brud mechanicznie, po czym kąpali się najpierw w gorącej, a potem w zimnej wodzie. Publiczne łaźnie stanowiły istotny element ich kultury i wykorzystywały zaawansowane wynalazki inżynierskie, umożliwiające dostarczanie wody ciepłej i zimnej. Po upadku cesarstwa rzymskiego konieczna do ich utrzymania infrastruktura popadła w ruinę, a kąpiele wyszły z mody. W zatłoczonych, pozbawionych dostępu do wody miastach coraz częściej uznawano kąpiel za zagrożenie dla zdrowia. W średniowieczu wielu Europejczyków uważało, że źródłem chorób są miazmaty i złe powietrze, a kąpiel – zwłaszcza w gorącej wodzie – otwiera pory, czyniąc człowieka podatnym na choroby, w tym dżumę, zwaną też czarną śmiercią. Z utrzymywaniem czystości wiązała się również kwestia moralna: kojarzona z pustelnictwem świętość zakładała wyrzeczenie się komfortu i luksusów. Im bardziej się cuchnęło, tym bliżej było się Boga.

Tak specyficzne nastawienie do czystości nie upowszechniło się w innych częściach świata. Niektórzy goście ze Wschodu uważali Europejczyków – nawet tych z królewskich dworów – za niebywale śmierdzących i brudnych. Dziś sądzilibyśmy o nich to samo. Z perspektywy czasu starsze normy kulturowe często wydają się odrażające. Nie tak dawno temu palenie papierosów było zupełnie normalne i wszędzie –

w biurach, restauracjach, barach i pociągach – roznosił się zapach tytoniu. Wciąż pamiętam czasy, kiedy można było palić na pokładzie samolotów. Dziś spoglądamy na tamte zwyczaje z mieszaniną grozy i zdumienia – jak to możliwe, że sobie coś takiego zafundowaliśmy? Z tej perspektywy obrzydliwy zapach dawnych mieszkańców Europy nie wydaje się już tak dziwny.

Brak higieny – podobnie jak palenie – nie miał konsekwencji jedynie estetycznych. W dziewiętnastowiecznych szpitalach lekarze chodzili od łóżka do łóżka i badali rodzące kobiety, nie zmieniając odzieży ani nie myjąc rąk. Skutkowało to ogromną śmiertelnością matek i niemowląt. W 1847 roku węgierski położnik Ignaz Semmelweis zarządził, by przed badaniem lekarze szorowali ręce roztworem wodnym podchlorynu wapnia, co doprowadziło do spadku śmiertelności z 20 procent do 1. Mimo tych ewidentnych dowodów lekarze wciąż niechętnie przyjmowali pogląd, że mogą przenosić na dłoniach zarazki i zakażać nimi pacjentów, powodując wielką liczbę zgonów. Dopiero w latach pięćdziesiątych XIX wieku, gdy brytyjska pielęgniarka Florence Nightingale zorganizowała kampanię na rzecz czystości, zasady higieny zaczęły się upowszechniać – najpierw w szpitalach wojskowych, a później we wszystkich innych. Najważniejszym elementem jej działań było zebranie danych statystycznych i wynalezienie nowego rodzaju wykresów pomagających przedstawić jej odkrycia na temat chorób i śmiertelności lekarzom oraz ogółowi społeczeństwa. Wraz ze zwiększaniem się liczby dowodów lekarze i pielęgniarki stopniowo zaakceptowali teorię zarazków, a mycie rąk mydłem stało się standardową praktyką w szpitalach. Oczywiście nie wszystkie mydła są sobie równe. Nowe zadanie mydła – dbać o czystość i zdrowie ludzi – zbiegło się w czasie z erą, w której połączone siły industrializacji

i marketingu wiodły świat Zachodu ku współczesnej kulturze konsumenckiej.

Na wysokości 12 kilometrów w malutkiej łazience także miałem nadzieję, że mydło mnie przeobrazi – ze zmęczonego faceta stanę się odświeżonym, czystym, energicznym podróżnikiem. Umyłem ręce w malutkiej umywalce i popatrzyłem na swoje odbicie w lustrze. Miałem zaczerwienione oczy, a skórę wokół nich wysuszoną i pomarszczoną. Moja cera nabrała żółtawego, niezdrowego odcienia. Spojrzałem na żarówkę – dawała błękitnawe, fluorescencyjne światło. „Może to dlatego" – pomyślałem. Po uważniejszej inspekcji ze zgrozą odkryłem żółtą plamę sosu curry na kołnierzyku. Susan nic mi o tym nie powiedziała, ale czy mogłem ją winić? Odruchowo potarłem plamę polizanym palcem. Znajdowała się tuż pod brodą, więc musiałem przeprowadzić tę operację przed lustrem. Niestety, zawarte w ślinie enzymy nie poradziły sobie z curry (które pewnie zawierało kurkumę), mało tego, wilgotna plama jeszcze się powiększyła. Po paru minutach różnych zabiegów przerywanych kilkakrotnym stukaniem w drzwi tylko pogorszyłem sytuację.

Proszek do prania był jednym z pierwszych fabrycznych produktów opartych na mydle. Każdy musi prać ubrania, a rosnąca rola higieny i czystości kształtowała obraz statusu i klasy społecznej w XIX wieku: ten, kto przychodził w brudnych ubraniach na przyjęcie, mszę lub jakieś inne zgromadzenie o charakterze religijnym, był postrzegany nie tylko jako biedak z samego dołu drabiny, ale także osobnik niemoralny. Brud i smród przestały być wyznacznikami świętości. Zarazki i choroby zaczęto kojarzyć ze złymi nawykami życiowymi. W 1885 roku wielebny Henry Ward Beecher, oznajmiając, że „czystość to prawie pobożność", ujął w słowa powszechne przekonanie, że moralność

i duchowość mają także wymiar fizyczny, a mydło jest nieodzownym przyborem w dążeniu do wyższego stanu.

W tym samym czasie upowszechnianie się kolei oraz gazet zbliżało ludzi i umożliwiało przekazywanie różnych idei na cały kraj. W ten sposób marki mydła stały się instytucjami narodowymi. W Stanach Zjednoczonych firma Procter & Gamble urosła do rangi największego gracza w przemyśle mydlarskim. Założyli ją w 1837 roku w Cincinnati dwaj angielscy imigranci, William Procter i James Gamble, którzy początkowo sprzedawali świece i mydło wykonywane z łoju pozyskiwanego w lokalnych przetwórniach mięsa. Z biegiem lat sprzedaż świec spadła – najpierw upowszechnił się olej z wielorybów, później nafta – zaś mydła znacznie wzrosła. Firma P&G zaczęła produkować mydło Ivory i zainwestowała wielkie sumy w ogólnokrajową kampanię reklamową w gazetach i czasopismach. Wraz z popularyzacją radia w latach dwudziestych XX wieku przedsiębiorstwo zaczęło sponsorować nadawane w odcinkach historie obyczajowe, których podczas prania i sprzątania słuchały głównie zajmujące się domem kobiety. Audycje te stały się bardzo popularne, a swoją nazwę – opery mydlane – wzięły od produktu, który umożliwił ich sponsorowanie.

Wynalazek pralki uwolnił ludzi – głównie kobiety – od wyczerpującego społecznego obrzędu ręcznego prania odzieży, a jednocześnie doprowadził do pojawienia się szerokiej gamy nowych substancji czyszczących. Mydło, za pomocą którego praliśmy ubrania przez prawie pięć tysięcy lat, wyposażono nagle w nowe chemiczne właściwości, w wyniku czego stało się detergentem. Detergenty to mieszanki substancji czyszczących – zawierają cząsteczki powierzchniowo czynne, takie jak mydło, oraz różne inne składniki, które mają podnosić ich skuteczność i zmniejszać niekorzystny wpływ na środowisko. W

przypadku mydła naładowane, lubiące wodę głowy cząsteczek łączą się z obecnym w wodzie wapniem, więc jeśli mieszkacie w okolicy, gdzie woda jest twarda, wapń będzie się wiązał z mydłem, tworząc warstwę osadu podobną do tej na powierzchni herbaty. Mydlany osad wygląda jednak inaczej – to biaława substancja, która pokrywa dłonie podczas mycia. Prowadzi to do szybszego zużycia mydła, ponieważ mniejsza część kostki bierze udział w czyszczeniu. Osad taki może też pozostawać na ubraniach w postaci szarawych resztek.

Jak temu zaradzić? Trzeba sprawić, by mydło nie wiązało się tak chętnie z wapniem. Chemicy odkryli więc nową grupę podobnych do mydła cząsteczek o lubiących wodę głowach i ciągnących do tłuszczy ogonach, których ładunek elektryczny daje się precyzyjnie kontrolować, dzięki czemu nie łączą się z wapniem. To właśnie te nowe surfaktanty.

Wraz ze wzrostem popytu konkurencja między producentami środków czystości nabrała rozmachu. Firmy zatrudniały najlepszych chemików w nadziei na stworzenie lepszych preparatów. Stosując metody chemicznego cięcia cząsteczek, opracowali detergenty zawierające łagodne wybielacze, które reagują z molekułami odpowiedzialnymi za powstawanie brązowych plam. Do proszków do prania dodali cząsteczki fluorescencyjne, zwane rozjaśniaczami optycznymi, które przyczepiają się do białych włókien tkanin i pozostają na nich po zakończeniu prania. Rozjaśniacze takie absorbują niewidzialne promienie ultrafioletowe i wypromieniowują błękitne światło, dzięki czemu tkaniny stają się „bielsze niż biel”, jak chętnie zapewniają korporacje. Działanie tych cząsteczek można zobaczyć w klubie nocnym. Ultrafioletowe reflektory na sali tanecznej aktywują fluorescencyjne molekuły na powierzchni białych ubrań, które wydają się świecić.

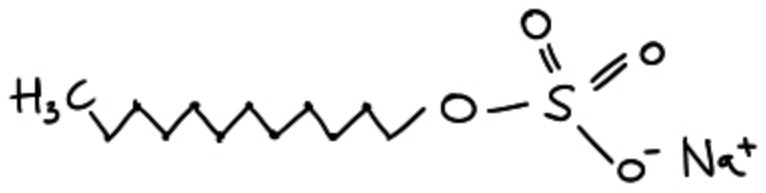
Gama środków powierzchniowo czynnych poszerzyła się. Preparaty z jonami (w których wodolubne głowy cząsteczek są naładowane ujemnie, tak jak w mydle) stworzono nie tylko po to, by usuwać brud bez pozostawiania osadu, lecz także w celu uodpornienia odzieży na wtórne osadzanie się na niej nieczystości podczas prania. Środki z kationami (głowy cząsteczek są w nich naładowane dodatnio) usuwają zabrudzenia nawet w niskich temperaturach i tworzą mniej piany niż inne surfaktanty. Niedopuszczenie do jej powstawania jest ważne, ponieważ piana wcale nie pomaga usuwać plam, natomiast zmniejsza skuteczność pralki i trudno się jej pozbyć z wnętrza bębna. Detergenty zawierają nawet specjalne środki przeciwspieniające, by zapobiec powstawaniu bąbelków.

Do większości środków piorących dodaje się biologiczne enzymy, aby zmniejszyć ich negatywny wpływ na środowisko. Pomagają one chemicznie rozcinać molekuły białek i skrobi, z których składa się większość plam. Potrafią je też usuwać w niskich temperaturach, dzięki czemu pralki działają skuteczniej, oszczędzając energię i pieniądze. Enzymy te nazywamy biologicznymi, ponieważ pochodzą od swoich naturalnych odpowiedników występujących w żywych organizmach, gdzie pełnią podobną funkcję: rozkładają niepotrzebne substancje i sprzyjają ich usuwaniu z wnętrza ciała. W Wielkiej Brytanii istnieją dwa rodzaje środków piorących: *bio* i *non-bio*. Te pierwsze zawierają enzymy i choć ewidentnie piorą lepiej, w sprzedaży wciąż są dostępne także te drugie. Jest tak z powodu uporczywie powtarzanego i nigdy niepotwierdzonego mitu, że detergenty z enzymami mogą podrażniać skórę.

Przykładamy wielką wagę do czystości ubrań. Chcemy mieć także czyste, lśniące, pachnące świeżością włosy. Słowo „szampon” trafiło

do języków europejskich z Indii, gdzie oznaczało masaż głowy wykonywany przy użyciu olejków i balsamów. Praktyka ta przybyła do Wielkiej Brytanii w czasach kolonialnych i słowo stopniowo zmieniło znaczenie. Pierwszy nowoczesny szampon stworzyła w latach trzydziestych XX wieku firma Procter & Gamble. Nazywał się Drene. Zawierał nowe, delikatniejsze surfaktanty w płynie i sprzedawano go w szklanej butelce z jaskrawą zielono-fioletową etykietką. Mniej więcej w tych samych latach do gry wszedł Unilever, główny konkurent P&G. Od tamtego czasu rywalizacja między tymi globalnymi korporacjami jest kołem zamachowym innowacyjności w dziedzinie detergentów.

W składzie produktu opisanym na butelce współczesnego szamponu zapewne znajdziecie pozycję *sodium lauryl sulphate* (SLS) – laurylosiarczan sodu – lub jego kuzyna, *sodium laureth sulphate* – lauretosiarczan sodu (SLES). To podstawowe składniki większości dzisiejszych szamponów. Są bardzo wydajnymi surfaktantami, które nie wchodzą w silne reakcje z zawartym w wodzie wapniem, dzięki czemu nie wytwarzają osadu. Mają jeszcze jedno działanie, które kojarzymy z szamponami: mocno się pienią. Są w tym naprawdę dobre.



Laurylosiarczan sodu (SLS) – widać wodolubną głowę i tłuszczolubny ogon

Podczas wcierania szamponu we włosy w wodzie więzną cząsteczki powietrza, które próbują z niej uciec, a kiedy dociera do powierzchni płynu, powstaje bąbelek. Gdyby nie używać żadnych środków powierzchniowo czynnych, ściankę takiej banieczki stanowiłaby cienka błona czystej wody, która w zetknięciu z powietrzem zyskuje wysoką energię powierzchniową i szybko pęka. Gdy jednak zastosować SLS, sytuacja diametralnie się zmienia. Molekuły surfaktantu gromadzą się w wodnej błonie bąbelków, obniżając energię cieczy do tego stopnia, że banieczki stają się dość stabilne. Podczas wcierania szamponu gromadzą się, tworząc pianę. Ponieważ surfaktant jednocześnie zbiera olej i tłuszcz, kojarzymy pienienie się z czyszczeniem, a skuteczność szamponu oceniamy po jego zdolności do tworzenia piany. Wylewa się ona z dzisiejszych reklam, ale w rzeczywistości wcale nie sprzyja myciu. Odgrywa czysto estetyczną rolę.

Laurylosiarczan sodu wraz z rodziną podobnych surfaktantów działa tak dobrze i ma tak niską cenę, że stosuje się go już w prawie każdym produkcie czyszczącym – poza szamponami także w płynach do mycia naczyń, płynach do prania, a nawet pastach do zębów. To dlatego podczas ich szczotkowania usta wypełniają się pianą, która tu także jest tylko na pokaz: „Patrzcie, szoruję zęby!”. SLS odniósł tak wielki sukces, że ostatecznie wyparł kostki mydła i od czasu pojawienia się tak zwanych żelów do kąpieli myjemy nim już nie tylko włosy, ale także całe ciało. Sprzedaje się je w niewielkich butelkach i dających się ścisnąć tubach. A ponieważ SLS jest przezroczysty, świetnie wygląda w przejrzystych opakowaniach, zwłaszcza jeśli się go zabarwi i doda aromatu, tak jak się to robi z szamponami.

Żele do ciała spodobały się ludziom nie tylko z powodów estetycz-

nych. Kostka mydła ma tę wadę, że zaraz po namoczeniu podczas kąpieli staje się bardzo śliska. Jeśli w waszej okolicy woda jest twarda, w wannie jej powierzchnia pokryje się błoną powstałą w wyniku reakcji mydła z wapniem, a w dodatku w mlecznobiałej wodzie można zgubić kostkę. Z kolei w kabinie prysznicowej mydło może wystrzelić z ręki, odbić się od ścianki niczym rykoszetujący pocisk, po czym spaść wprost pod stopę i spowodować bolesny upadek. Żel nie powoduje takich problemów.

Ponadto żel pod prysznic sprzedaje się w butelce. Mydło trzeba gdzieś położyć – przeważnie trzymamy je na widoku, gdzie ocieka pianą i śluzowatymi szumowinami, co nadaje mu niezbyt fotogeniczny wygląd, natomiast żel po każdym użyciu mógłby trafić wprost przed kamerę. Kostka mydła nawet po wyschnięciu nie wraca do poprzedniego stanu – przestaje przypominać litą, godną zaufania bryłkę. Wystarczy użyć go raz, by straciło pierwotny kształt.

W latach osiemdziesiątych XX wieku firma Minnetonka zaczęła obmyślać plany wprowadzenia mydła w płynie do toalet i kuchni. Jej pracownicy wiedzieli, że taki produkt musi mieć inny charakter – nie może przypominać szamponu czy żelu pod prysznic, a już na pewno płynu do mycia naczyń, mimo że w składzie nie będzie się od nich zbytnio różnił. Chcieli go sprzedawać jako ekscytującą nowość. Wpadli na pomysł zastosowania dozownika naciskowego i okazało się to strzałem w dziesiątkę. Każdy, kto niechętnie sięgał w łazience po wilgotne mydło, którego wcześniej używał ktoś inny, mógł teraz otrzymać porcję pozornie nieskazitelnego detergentu wprost na dłoń. Pomysł ten nie przyjął się jednak od razu. Nie wszyscy wydawali się zachwyceni – zdaniem niektórych było to nadmiernie skomplikowane rozwiązanie nieistotnego problemu. Innym z kolei – takim jak ja, o

czym już wspominałem – nie podobało się skojarzenie z sikającym na dłoń zwierzątkiem.

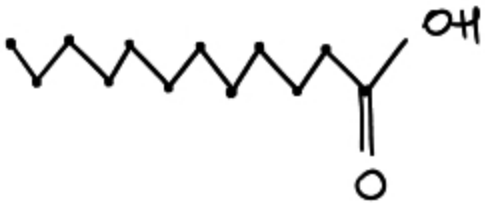
O ile w latach osiemdziesiątych opinie na temat mydeł w płynie były jeszcze podzielone, o tyle wydarzenia lat dziewięćdziesiątych przechyliły szalę zwycięstwa na ich stronę. Pewne szczepy bakterii zwanej gronkowcem złocistym z czasem uodporniły się na antybiotyki, przez co często infekowane nimi rany pooperacyjne stawały się trudne do wyleczenia. Niewrażliwe na metycylinę szczepy oznaczane skrótem MRSA zostały odkryte w latach sześćdziesiątych XX wieku, a w latach dziewięćdziesiątych doprowadziły już do prawdziwej epidemii w szpitalach. W Wielkiej Brytanii odpowiadały za połowę wszelkich zakażeń szpitalnych. W Europie kontynentalnej i Stanach Zjednoczonych sytuacja wyglądała podobnie. Doprowadziło to do zwiększenia śmiertelności pacjentów – do roku 2006 w Wielkiej Brytanii odnotowano dwa tysiące zgonów spowodowanych przez MRSA i szpitale zmagały się z tymi wszechobecnymi bakteriami. Na szczęście dzięki wprowadzeniu ściślejszych zasad higieny – zwłaszcza nakazu mycia rąk przez pielęgniarki i lekarzy po kontakcie z każdym pacjentem – w minionej dekadzie śmiertelność pacjentów zaczęła spadać.

Również poza sferą szpitalną zainicjowano kampanie społeczne mające uświadamiać korzyści płynące z mycia rąk. W ich ramach promowano mydła antybakteryjne, które poza laurylosiarczanem sodu i podobnymi cząsteczkami zawierają związki takie jak bakteriobójczy triklosan. Reklamuje się je jako lepsze niż tradycyjne mydła, ponieważ mają skuteczniej zapobiegać rozpowszechnianiu się zarazków. Kampania okazała się bardzo skuteczna: popyt na mydła antybakteryjne ogromnie wzrósł, choć brakuje dowodów na to, by faktycznie myły lepiej niż zwykłe mydło i woda. Doktor Janet Woodcock,

dyrektorka amerykańskiego Centrum Oceny i Badania Leków przy Agencji Żywności i Leków, stwierdziła, że niektóre mydła antybakteryjne nie dostarczają żadnych korzyści zdrowotnych.

„Konsumenci mogą sądzić, że środki antybakteryjne skuteczniej chronią ich przed zarazkami, ale brakuje dowodów naukowych na to, że przewyższają pod tym względem zwykłe mydło i wodę. Niektóre dane wskazują wręcz, że składniki antybakteryjne przy dłuższym stosowaniu mogą wyrządzać więcej szkody niż pożytku" – oświadczyła Woodcock.

W 2016 roku zakazano sprzedaży mydeł antybakteryjnych w Stanach Zjednoczonych. Mydło w płynie stało się jednak wszechobecne. W wersji pozbawionej środków antybakteryjnych jest najchętniej kupowanym rodzajem mydła w Wielkiej Brytanii i USA. Stosuje się je w szpitalach, domach czy – no właśnie – łazienkach samolotów. Sam w tej chwili wypsikiwałem sobie jego porcję na dłoń.



Budowa cząsteczki kwasu laurynowego, który często pozyskuje się z oleju z nasion palmy

„Ping" – dobiegło z interkomu.

– Mówi kapitan. Wkrótce możemy doświadczyć turbulencji, dlatego włączyłem kontrolkę nakazującą zapiąć pasy. Proszę wszystkich pasażerów o powrót na miejsca. Dziękuję.

To dziwne wrażenie, słyszeć, jak w toalecie przemawia do ciebie czyjś głos. Chwilę wcześniej miałem poczucie pełnej prywatności, teraz zaś wydało mi się, jakby kapitan wsunął głowę przez szparę w drzwiach. Paranoiczna część mojego mózgu zaczęła wręcz podejrzewać, że specjalnie wymyślił to ogłoszenie, żeby wywabić mnie z toalety, gdzie przesiadywałem już zbyt długo, czytając skład mydła na etykiecie z tyłu buteleczki.

Mydło faktycznie zawierało SLS. Najprawdopodobniej substancję tę uzyskano z oleju nasion palmy lub kokosa. Drzewa te rosną w klimacie tropikalnym i odgrywają wielką rolę w światowej gospodarce, ponieważ są łatwe w uprawie i dają dużo oleju. Kraje o odpowiednich warunkach pogodowych zyskują dzięki nim stabilne źródło niezłych dochodów. Rocznie produkuje się 50 milionów ton oleju palmowego, który trafia do całej gamy produktów: od ciastek po kosmetyki. Gdy następnym razem odwiedzicie supermarket, popatrzcie na skład herbatników, ciasteczek, czekolady, płatków śniadaniowych i tak dalej. Najprawdopodobniej we wszystkich odkryjecie olej palmowy.

Olej palmowy jest szczególnie użyteczny przy produkcji mydła w płynie z powodu specyficznej budowy chemicznej. Zawiera sporo kwasu laurynowego, czyli cząsteczek o dwunastu atomach węgla z grupą karboksylową na końcu. Kwas ten wygląda bardzo podobnie do surfaktantów, lecz nie ma naładowanej elektrycznie końcówki. Z chemicznego punktu widzenia można to jednak łatwo naprawić. Ważna jest natomiast wielkość cząsteczki – kwas laurynowy wykorzystywany do stworzenia substancji powierzchniowo czynnych two-

rzy znacznie mniejszą molekułę łańcuchową niż ta w zwykłym mydle o typowej długości osiemnastu atomów węgla.

Mniejsze cząsteczki są lżejsze, a co za tym idzie – skuteczniejsze jako substancje spieniające. Bywają wręcz zbyt skuteczne. Nasze upodobanie do mydła w płynie poskutkowało ogromnym wzrostem jego produkcji, co pociągnęło za sobą zwiększenie zapotrzebowania na oleje palmowy i kokosowy. Doprowadziło to do wycinania ogromnych połaci lasów deszczowych w krajach, w których te oleje się wytwarza, takich jak Malezja i Indonezja, gdzie wielką bioróżnorodność dżungli zastąpiły monokultury drzew palmowych. Jest to szkodliwe z wielu przyczyn – prowadzi między innymi do niszczenia siedlisk dzikich gatunków zwierząt, z których mnóstwo już jest zagrożonych wyginięciem, oraz wysiedlania rdzennych, marginalizowanych od wieków społeczności. Popyt na mydło w płynie i inne produkty zawierające olej palmowy jest jednak tak wielki, że procesów tych nie sposób powstrzymać.

Co gorsza, detergenty bogate w pozyskiwany tak ogromnym kosztem laurylosiarczan sodu w przypadku niektórych osób mogą działać wręcz zbyt skutecznie: usuwają tłuszcze i olejki tak agresywnie, że prowadzą do podrażnień skóry, egzemy i stanów zapalnych. By temu zapobiec, producenci mydeł w płynie dodają do nich substancje modyfikujące i nawilżające, które zastępują naturalne, zmywane przez SLS tłuszcze. Biorąc to pod uwagę, można się niemal cieszyć, że większość użytego mydła ląduje w zlewie, a nie na dłoniach. Wytwórcy starają się zwiększać lepkość mydeł oraz konstruują dozowniki, które wypuszczają je nie w postaci żelu, lecz efektywniejszej pianki. Nie chodzi tu wyłącznie o efekt estetyczny, jak w przypadku szamponu, płynów do kąpieli i past do zębów – takie urządzenia rzeczywiście le-

piej nanoszą surfaktanty na skórę.

Płynne mydła w najróżniejszych postaciach stały się biznesem wartym 100 miliardów dolarów. Polegamy na detergentach, by utrzymywać nasze otoczenie, ubrania, włosy oraz naczynia w czystości i nadawać im przyjemny zapach, a także, co szczególnie ważne w gęsto zaludnionym świecie, by dbać o zdrowie i zapobiegać rozprzestrzenianiu się chorób. Gdy jednak kupujemy takie środki, płacimy głównie za marketing. Podstawowe składniki detergentów – te, które faktycznie czyszczą – są tanie. Tym bardziej warto więc zwracać uwagę na sposób ich produkcji i wpływ na lasy tropikalne.

Osobiście uwielbiam mydło w kostce. Dobrze leży w dłoni, a używanie go daje mi krzepiące, miłe poczucie kontaktu z prawdziwym przedmiotem. Tak, trudno je promować, ale to właśnie w nim lubię – kupujesz mydło, bo jest ci potrzebne, a nie dlatego, że uczyni cię innym, lepszym, pożądanym i seksownym człowiekiem.

Samolot złowieszczo podskakiwał i dygotał. Dobiegło mnie mocne stukanie w drzwi i stewardesa zapytała, czy dobrze się czuję. Przez chwilę się zaniepokoiłem, że może siedzę w toalecie już od wielu godzin, rozmyślając z goryczą o sukcesach mydła w płynie, ale po chwili zrozumiałem, że martwiła się o mnie z powodu turbulencji. „Czas wracać na miejsce" – pomyślałem, lecz przed otwarciem drzwiczek przyjrzałem się jeszcze drugiej buteleczce przy umywalce. Zawierała dodatkowy żel – nawilżacz. Ale po co? Czy naprawdę należy nawilżać dłonie po każdym myciu? A może to kolejny objaw presji marketingowej, byśmy konsumowali produkty niezależnie od rzeczywistych potrzeb? Producenci najpierw wypuszczają na rynek płynne mydła, które myją zbyt dokładnie, a potem sprzedają remedium na ten problem – krem nawilżający. Czy ogarniała mnie już paranoja? Tak czy

inaczej, nacisnąłem pompkę dozownika. Butelka była bardzo ładna, a płyn roztaczał świeży cytrynowy zapach, któremu, choć może to głupio zabrzmieć, nie potrafiłem się oprzeć.

Odświeżająca

Po drodze z toalety minąłem jedno z dużych owalnych wejść do samolotu. Było w nim okienko i kusząco wielki, czerwony uchwyt. Podczas podróży lotniczej zawsze ogarnia mnie dziwna ochota, by otworzyć drzwi. Nie mam pojęcia, skąd się ona bierze. Gdybym to zrobił, powietrze zostałoby wyssane z kabiny wraz ze mną i wszystkimi pasażerami, którzy nie zapięli pasów. Pozostali siedzieliby w temperaturze –50°C przy ciśnieniu tak niskim, że praktycznie uniemożliwiającym oddychanie. Jak wiemy z instruktażu bezpieczeństwa, w tym momencie ze schowków pod sufitem wypadłyby maski tlenowe.

Spadek ciśnienia wraz ze wzrostem wysokości to powód, dla którego samoloty latają tak wysoko – w rzadkim powietrzu kadłub napotyka mniejszy opór i można dolecieć dalej przy zużyciu mniejszej ilości paliwa. Dla inżynierów wiąże się to jednak ze sporym problemem: muszą projektować kabiny, w których pasażerowie się nie uduszą i nie zamarzną. Rozwiązują go za pomocą klimatyzacji, której historia zbiega się z dziejami najniebezpieczniejszych cieczy na naszej planecie.

Wróciłem na miejsce i posłałem Susan przepraszający uśmiech. Chciałem nim wyrazić, jak bardzo mi przykro, że przerywam jej lekturę i musi teraz rozpiąć pas i wstać, obsypując się przypadkiem okruszkami. Oczywiście nie było w tym mojej winy – tak po prostu rozmieszczone są fotele w samolocie, a chodzenie do toalety jest całkowicie naturalne, nawet jeśli nie było mnie dość długo.

Susan podniosła się z uśmiechem, który mówił mi, jak sądzę:

„Niech się pan nie przejmuje, każdy czasem idzie do toalety". Wyszła między rzędy foteli, a ja przecisnąłem się obok na swoje miejsce. Oboje zapięliśmy pasy, a samolot podskakiwał i dygotał. Przyczyną turbulencji były zmiany gęstości powietrza na różnych odcinkach naszej trasy, powodowane warunkami pogodowymi. Gdy samolot wlatywał w strefę o większej gęstości, zwalniał wraz ze wzrostem siły tarcia. Kiedy z kolei trafiał w obszar rzadszego powietrza, raptownie opadał, ponieważ zmniejszała się siła nośna wywierana na skrzydła.

Mimo gwałtownych zmian ciśnienia na zewnątrz, mogłem oddychać normalnie, a ciśnienie w kabinie, choć niższe niż to, do którego przywykłem, nie ulegało żadnym wahaniom. Zawdzięczaliśmy to klimatyzacji, którą zajmuje się wąsko wyspecjalizowana dziedzina inżynierii. W swoich czasach zaciekawiła nawet Alberta Einsteina, autora kilku innowacyjnych patentów w tej branży, który jednak interesował się raczej ratowaniem ludzi na ziemi niż ułatwianiem im oddychania podczas długich lotów.

Einstein próbował rozwiązać następujący problem. Otóż w latach dwudziestych XX wieku nowo wynalezione lodówki zyskiwały na popularności, zastępując stosowane w domach od wieków chłodziarki na lód. Pierwsze lodówki nie były jednak zbyt bezpieczne. Einsteinem wstrząsnęło doniesienie o pewnej berlińskiej wielodzietnej rodzinie, która zginęła z powodu wycieku spowodowanego rozszczelnieniem się pompy lodówki. W owych czasach w urządzeniach tych stosowano trzy rodzaje płynnego chłodziwa: chlorometan, dwutlenek siarki lub amoniak – wszystkie toksyczne. Nie odchodzono jednak od nich, ponieważ mają niską temperaturę wrzenia.

Lodówka działa na zasadzie przepompowywania cieczy przez system rurek. Jeśli temperatura wewnątrz niej wzrasta powyżej tempe-

ratury wrzenia chłodziwa, zaczyna się ono gotować. W tym celu musi pozyskać energię konieczną do oderwania się od innych cząsteczek cieczy (to tak zwane ciepło utajone lub entalpia przemiany fazowej). Pobiera ją z powietrza obecnego wewnątrz lodówki i w ten sposób je schładza. Stąd wynika potrzeba stosowania cieczy o temperaturze wrzenia około 5°C, czyli takiej, jaką utrzymuje wnętrze urządzenia. By płyn nadawał się na chłodziwo, musi jednak także móc przejść z postaci gazowej z powrotem w ciekłą pod wpływem ciśnienia wytwarzanego przez sprężarkę.

Aby sprężarka mogła zmienić gaz w ciecz, musi pozbawić go ciepła utajonego, czyli w gruncie rzeczy je z niego wycisnąć. Dzieje się to w tylnej części urządzenia, w chwilach gdy od czasu do czasu dobiega nas stamtąd cichy warkot. To dlatego za lodówką jest gorąco i nie można schłodzić sobie mieszkania, otwierając jej drzwi, bowiem emanującemu z wnętrza chłodowi towarzyszy ciepło wydzielane z tyłu przez pompę, o czym mówi pierwsze prawo termodynamiki. Chłodzenie polega na pozbawianiu energii, którą jednak trzeba później dokądś pokierować – nie może po prostu zniknąć. W tym wypadku energia zbiera się w tylnej części lodówki.

Podpiąć trochę rurek do sprężarki i podłączyć zawór, by ciecz zmieniała się w gaz – choć pomysł ten brzmi prosto, stanowi spore wyzwanie inżynierskie. Gaz płynie pod ciśnieniem, więc jego cząsteczki pozostają w nieustannym ruchu i uderzają w wewnętrzne ścianki rurek. Miejsca ich połączenia ze sprężarką to słabe punkty, w których rozszalałe, szukające drogi ujścia cząsteczki mogą spowodować rozszczelnienie, jeśli nie użyje się odpowiednich materiałów. To się właśnie zdarzało w pierwszych lodówkach. W środku nocy dochodziło do wycieku amoniaku, który zabijał pogrążone we śnie rodziny.

Einstein chciał temu zaradzić, a jako specjalista od prawa patentowego rozumiał techniczne zawiłości układów mechanicznych i elektrycznych. Nawiązał współpracę z fizykiem Leó Szilárdem i obaj próbowali wynaleźć nowy rodzaj bezpieczniejszej dla domowników lodówki. Chcieli się całkowicie pozbyć zewnętrznych sprężarek, a wraz z nimi wszelkich połączeń czy uszczelek, projektując system pozbawiony ruchomych części i dzięki temu znacznie mniej narażony na awarie.

W latach 1926–1933 Szilárd i Einstein opracowywali różne metody przekształcania cieczy w gazy i odwrotnie, by stworzyć działającą lodówkę. Przeobrażanie cieczy w gaz, jak przed chwilą wspominałem, powoduje schładzanie otoczenia. Lecz by gaz zamienić z powrotem w ciecz, zawsze dotąd posługiwano się sprężarką, która przez zwiększenie ciśnienia zmusza cząsteczki do koncentracji i przejścia w stan ciekły. Musiał jednak istnieć jakiś inny sposób. Obaj wynalazcy mieli różne pomysły. Budowali działające prototypy urządzeń i uzyskali kilkadziesiąt patentów. W jednym projekcie ciekły butan przepływał przez ciąg rurek, gdzie przechodził w stan gazowy pod wpływem kontaktu z amoniakiem, co wywoływało efekt chłodzący, następnie mieszał się z wodą, która pochłaniała amoniak, po czym wracał do obiegu. Według innego pomysłu ciekły metal – początkowo rtęć – płynął w rurkach wibrujących pod wpływem sił elektromagnetycznych. Oscylacje rozwibrowanej cieczy działały niczym tłok sprężający gazowe chłodziwo do postaci płynu. W ten sposób efekt chłodzący powstawał dzięki działaniu jednej cieczy na drugą i nie wymagał zastosowania żadnych ruchomych części. We wszystkich projektach płyny robocze były hermetycznie zamknięte w rurkach, toteż cały układ był bezpieczniejszy od stosowanych wówczas rozwiązań.

Prototypy przyciągnęły uwagę biznesu – jeden patent kupiła szwedzka firma Electrolux, a niemiecka korporacja Citogel wdrożyła inny – lecz partnerstwo Szilárda i Einsteina znalazło się w tarapatach. Byli Żydami, a ponieważ w Niemczech partia nazistowska rosła w siłę, coraz trudniej żyło się im i pracowało w tym kraju.

Szilárd przeprowadził się do Wielkiej Brytanii, gdzie brał udział w opracowaniu wynalazku, który miał zmienić bieg historii. Tym razem nie chodziło jednak o chłodzenie, lecz podgrzewanie – bo to właśnie robi bomba atomowa podczas reakcji łańcuchowej. Einstein jeździł natomiast po Europie, gdy coraz bardziej wroga partia nazistowska konsolidowała władzę. Obaj naukowcy ostatecznie trafili do Stanów Zjednoczonych, gdzie na nowo podjęli współpracę, jednak było już za późno. Amerykańscy wynalazcy także prowadzili badania nad bezpiecznymi chłodziarkami, lecz podeszli do problemu inaczej: zamiast eliminować z układu sprężarkę, postanowili opracować nieszkodliwe płyny chłodzące. W 1930 roku chemik Thomas Midgley wynalazł ciekły freon, który okrzyknięto bezpiecznym i tanim chłodziwem, a Einstein i Szilárd wypadli z lodówkowego biznesu. Niestety, okazało się, że freon nie jest wcale taki nieszkodliwy, lecz musiało upłynąć pięćdziesiąt lat, nim fakt ten wyszedł na jaw, mimo że Thomas Midgley już wcześniej miał reputację chemika tworzącego niebezpieczne ciecze.

W latach dwudziestych, gdy pracował dla General Motors, odkrył płyn zwany tetraetyloołowiem, który po dodaniu do benzyny ułatwiał jej spalanie, tym samym zwiększając wydajność silników. Substancja ta dobrze się sprawdzała, lecz była wysoce toksyczna, ponieważ zawierała ołów. Midgley sam się nim zatruł podczas prac. „Po ponad roku badań nad organicznym ołowiem”– pisał w styczniu 1923 roku

– „stwierdziłem, że zaszkodził mi on na płuca, toteż muszę przerwać wszelkie prace i porządnie nałykać się świeżego powietrza". Mimo ewidentnego niebezpieczeństwa Midgley eksperymentował nadal. Badania trwały wiele lat, a pracownicy fabryczni chorowali na ołowicę, doznawali halucynacji i umierali. W 1924 roku wynalazca zwołał konferencję prasową, podczas której zademonstrował nieszkodliwość tetraetyloołowiu – polał sobie dłonie tą cieczą i wdychał jej opary. Ponownie dostał ołowicy, lecz to nie powstrzymało go przed rozpoczęciem produkcji nowej cieczy do celów handlowych.

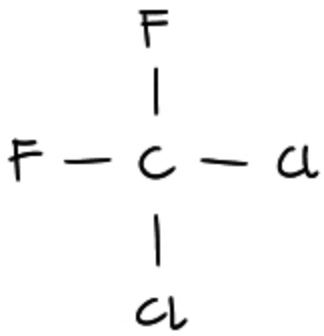
Od tego czasu tetraetyloołów dodawano do benzyny w krajach całego świata. Od lat siedemdziesiątych zaczęto go jednak wycofywać za sprawą coraz większej liczby dowodów na jego szkodliwość. (W Wielkiej Brytanii całkowicie zakazano jego używania dopiero 1 stycznia 2000 roku)[1]. W konsekwencji zawartość ołowiu we krwi dzieci znacznie spadła, co miało spore skutki społeczne. Odkryto na przykład statystycznie znaczącą korelację między stosowaniem benzyny ołowiowej a odsetkiem brutalnych przestępstw. Ołów bardzo silnie degeneruje układ nerwowy. Naukowcy wysuwali nawet tezy, że zakaz stosowania benzyny ołowiowej doprowadził do znacznego podwyższenia ilorazu inteligencji u mieszkańców miast.

Cofnijmy się jednak do chwili, gdy Midgley zaczął się zajmować problemem niebezpiecznych lodówek. Jego zespół skupiał się na małych węglowodorach, takich jak butan, które mają niską temperaturę wrzenia. Ich wadą była łatwopalność – używa się ich na przykład w zapalniczkach i turystycznych butlach gazowych – mogły więc spowodować wybuch.

W cząsteczkach węglowodorów badacze zastąpili atomy wodoru fluorem i chlorem, wynajdując nową rodzinę cząsteczek zwanych

chlorofluorowęglanami (CFC). Potencjalnie substancja ta była znacznie groźniejsza niż małe węglowodory, od których zaczynali, składnikiem rozkładu CFC jest bowiem silnie toksyczny i korozyjny fluorowodór. Midgley i jego zespół uznali jednak, że do takiego rozkładu raczej nie dojdzie, ponieważ wiązania między fluorem a węglem są bardzo silne, więc ciecz będzie obojętna. Faktycznie taka jest. Wydawała się idealnym rozwiązaniem problemu chłodziarek, bo nawet w razie wycieku nie mogła nikogo zabić. I choć pod tym względem Midgley osiągnął sukces, nie przewidział innych zagrożeń, jakie niesie z sobą stosowanie CFC.

Od chwili jego wprowadzenia freon wyciekał czasem z układu chłodzenia lodówek, ale wydawało się, że jedynym negatywnym tego skutkiem jest awaria chłodziarki, nie zaś śmierć domowników. Bardzo niski koszt wytwarzania freonu doprowadził do ogromnego wzrostu popularności tych urządzeń. W 1948 roku tylko 2 procent Brytyjczyków posiadało lodówkę. W latach siedemdziesiątych – już prawie każdy. Zakrawało to na cud. Nasze spiżarki i wypełniane lodem skrzynki zostały wyparte przez dostępne dla każdego urządzenia, w których można chłodzić i przechowywać jedzenie oraz napoje. Znacznie ułatwiło to dystrybucję świeżej żywności i ograniczyło marnotrawstwo ryb, nabiału, mięsa oraz warzyw, dzięki czemu ich ceny spadły. Doszło do chłodziarkowej rewolucji, na czele której stał pozornie nieszkodliwy freon.



Budowa cząsteczki CFC (freonu)

Siedząc w dusznej kabinie, poczułem, że sam potrzebuję ochłody. Pomanipulowałem chwilę pokrętłem wentylatorka nad fotelem, by owiał mnie strumień powietrza. Pokrętło się jednak zakleszczyło i żeby móc je lepiej chwycić, musiałem się podnieść. W końcu otworzyłem nawiew i poczułem chłodny podmuch, lecz musiałem też przypadkiem wzbić osiadły na siedzeniu kurz, ponieważ siadając, mocno kichnąłem. Było to jedno z tych nagłych, niedających się powstrzymać kichnięć, które rażąco naruszają lotniczą etykietę, zwłaszcza że nie zdążyłem osłonić nosa rękawem. Kobieta z miejsca przede mną odwróciła się i popatrzyła na mnie z dezaprobatą przez szczelinę między fotelami. Mężczyzna stojący w przejściu rzucił mi spojrzenie pełne jawnej nienawiści. Pasażerowie wokół mnie zapewne uznali, że mam grypę, jeśli nie coś gorszego, a mimo to beztrosko wsiadłem na pokład samolotu, prawdopodobnie ignorując zalecenie lekarza, by wstrzymać się od podróży. Przypuszczam, że wszystkim nam zdarzyło

się popełnić podobny grzech. Rzeczywiście, wirusy szybko rozprzestrzeniają się w samolotach, ponieważ ludzie siedzą w nich gęsto upakowani na dość małej przestrzeni. Poczułem się beznadziejnie. Co gorsza, było to mokre kichnięcie i osoby przede mną mogły poczuć jedną czy dwie kropelki. Susan miałaby największy powód do urazy, ale nic nie powiedziała, przyklejona do książki. Chciałem przeprosić i wyjaśnić wszystkim, że kichnąłem z powodu kurzu, który musiał się unieść, kiedy siadałem, ale nie umiałem ubrać tego w słowa. Wyjąłem więc tylko chusteczkę i wytarłem nos oraz winylową tapicerkę fotela przede mną.

Systemy klimatyzacyjne to w gruncie rzeczy lodówki do chłodzenia powietrza. Klimatyzacja w samochodzie przepuszcza powietrze z wnętrza kabiny między zawierającymi chłodziwo rurkami. Chłodne powietrze nie może dłużej utrzymywać wysokiej zawartości wilgoci, więc ta skrapla się w instalacji. (To właśnie dlatego, gdy powietrze unosi się i schładza, powstają chmury). Skutkiem ubocznym działania klimatyzacji jest zatem wysuszanie powietrza. W gorących, wilgotnych krajach klimatyzacja jest wręcz niezbędna w samochodach, autobusach czy pociągach, lecz jednocześnie zużywa dużo prądu. Na przykład w Singapurze odpowiada za konsumpcję około połowy energii elektrycznej w domach i biurach. W Stanach Zjednoczonych cały sektor transportowy – w tym pociągi, samoloty, statki i samochody – zużywa 25 procent energii kraju, podczas gdy ogrzewanie i schładzanie budynków za pomocą klimatyzacji – prawie 40 procent.

Podobnie jak lodówka rozgrzewa się od zewnątrz wskutek schładzania własnego wnętrza, tak klimatyzowane auta czy budynki oddają ciepło otoczeniu, tym samym zwiększając jego temperaturę. Ogólnie rzecz biorąc, wpływ takiego nagrzewania jest niewielki z wyjąt-

kiem gęsto zaludnionych miast, gdzie wzrost temperatury spowodowany działaniem klimatyzacji daje się zauważyć. Naukowcy z Arizona State University wykazali, że tylko z tego powodu średnia temperatura w nocy rośnie w miastach o ponad 1°C. Może się wydawać, że to niewiele, ale warto pamiętać, że wzrost średniej temperatury na świecie o 2°C najprawdopodobniej doprowadzi do poważnej zmiany klimatu.

Zwiększanie wydajności klimatyzacji jest więc wyzwaniem globalnym, któremu, przyznaję to z dumą, sam pomogłem odrobinkę zaradzić. By system chłodzący działał skuteczniej, ciepło musi być szybko odprowadzane przez metalowe rurki – to dlatego do ich produkcji używa się miedzi. Metal ten jest drogi, lecz bardzo dobrze przewodzi ciepło. Bywa, że w dusznym biurze, gdy temperatura na zewnątrz sięga 40°C, nawet korzystając z miedzianych rurek, nie daje się dość szybko schłodzić pomieszczenia. Sposób, w jaki przepływa przez nie ciekłe chłodziwo, może jednak wiele zmienić.

Przepływ ustalony – gdy na przykład woda płynie rurą – jest przewidywalny, lecz prędkość cieczy w całej objętości nie jest równa. Przeważnie ciecz w tak zwanej warstwie zewnętrznej strugi (czyli przy ściance rury) płynie wolniej niż w warstwie wewnętrznej. Nie zachodzi między nimi zbyt intensywna wymiana ciepła, co zmniejsza prędkość jego odprowadzania. System chłodzący staje się znacznie efektywniejszy, gdy zachodzi tak zwany przepływ turbulentny – w tym przypadku ciecz płynie chaotycznie i burzliwie, powstają wiry, a warstwy dokładnie się mieszają. Jedną z metod jego osiągnięcia jest zwiększenie ciśnienia (na przykład maksymalne odkręcenie kranu, by woda gwałtownie wytryskiwała), lecz do tego potrzeba więcej energii. Lepiej więc zakłócić przepływ zewnętrznej warstwy płynu, co osiąga-

my, żłobiąc po wewnętrznej stronie miedzianej rurki spiralne zagłębienia, które powodują ciągłe mieszanie się cieczy. Zabieg ten stał się typową metodą wymuszania przepływu turbulentnego. Dzięki niemu chłodziwo skuteczniej odprowadza ciepło i sprawność klimatyzacji znacznie się zwiększa bez dodatkowych wydatków energetycznych. Genialne, co?

Nie ja wpadłem na to rozwiązanie. Ale i Einstein je przeoczył, więc nie czuję się źle.

Opisaną metodę wymuszania przepływu turbulentnego wynaleziono w XX wieku, kiedy ja uczyłem się jeszcze czytać, a Einstein już nie żył. Poszedłem do szkoły, potem na uniwerek, a wreszcie zrobiłem doktorat, a w sektorze klimatyzacji wciąż nie odnotowano znacznych postępów. Tymczasem wydajność energetyczna była coraz ważniejsza i coraz istotniejsze stawało się obniżanie kosztów produkcji rurek miedzianych z wewnętrznymi spiralnymi żłobieniami. W końcu, gdy obroniłem doktorat na temat stopów metali stosowanych w silnikach odrzutowych, profesor Brian Derby z Oksfordu poprosił mnie o pomoc przy rozwiązaniu pewnego problemu. Ponieważ sprawa nie miała nic wspólnego ze stopami silników, nie bardzo wiedziałem, jak się do tego zabrać.

Żłobienie miedzianych rur powstaje w procesie technicznym przypominającym wyciskanie pasty z tubki. Wyobraźcie sobie tylko, że zamiast pasty w miedzianej rurce znajduje się trzpień o średnicy odrobinkę większej niż jej wylot. Trzpień nie wysuwa się więc swobodnie, lecz trzeba go przecisnąć, co powoduje rozpychanie rurki. Na trzpieniu są spiralne bruzdy, więc obraca się on podczas przeciskania i żłobi wnętrze rury. Czary! Jedyny problem polega na tym, że trzpień powstaje z połączenia kilku elementów wykonanych z supertwardego

materiału zwanego węglikiem wolframu, a w ogromnym urządzeniu do przeciskania miedzi pojawia się czasem tak wielkie ciśnienie, że nity puszczają, trzpień pęka i mamy warte kilka milionów funtów pobojowisko.

Cudownym zrządzeniem losu opracowaliśmy ciecz, która rozwiązała ten problem. Odkryliśmy, że można połączyć dwie połówki trzpienia z węglika wolframu, roztapiając ich wewnętrzną część, lecz nie skorupę. Osiąga się to za pomocą bardzo precyzyjnych technik spawalniczych. Jak w przypadku większości odkryć, kiedy już pozna się ogólną zasadę, łatwo pójść naprzód. Teraz musieliśmy już tylko ścisnąć obie połowy i włożyć je do wysokotemperaturowego pieca. W tych warunkach ciecz powstała wewnątrz materiału – przepływała między dwiema częściami, spajając je. Po schłodzeniu otrzymaliśmy jeden lity, pozbawiony łączeń kawał węglika wolframu. Nie oznaczało to jednak, że trzpień wytrzyma próbę praktycznego zastosowania. Czułem spore podenerwowanie, jadąc do wielkiej wytwórni rur miedzianych w amerykańskim mieście Saint Louis – gdyby trzpień pękł, kosztowałoby to firmę dziesiątki tysięcy dolarów. Przyznam jednak z dumą, że zgrzewanie ciekłofazowe się sprawdziło i złożyliśmy wniosek o patent na rynku europejskim: *Metoda zgrzewania ciekłofazowego* (WO 1999015294 A1).

No dobrze – inżynierowie wynajdywali kolejne coraz skuteczniejsze sposoby schładzania, ale na horyzoncie czaiły się poważne kłopoty. Włożono mnóstwo pracy w zwiększanie wydajności układów chłodzących, nikt jednak nie pomyślał o tym, co się stanie, gdy lodówka czy klimatyzator przestaną działać. Po prostu wyrzucano je na śmietnik i odzyskiwano wartościowe metalowe części – stalową obudowę oraz miedziane rurki. Freonu nie zbierano. Ciecz ulatniała się natych-

miast po rozcięciu rurek, chłodząc je po raz ostatni. Nikt się tym nie przejmował. CFC stosowano już przecież także jako gaz pędny w puszkach lakieru do włosów i innych jednorazowych sprejach – ponoć był obojętny, więc w czym problem? Zakładano, że gdy freon zamienia się w gaz, po prostu rozwiewa go wiatr. I to się właśnie dzieje. Z biegiem dekad związek ten zaczął przedostawać się jednak do stratosfery, gdzie pod wpływem światła ultrafioletowego rozkładał się na cząsteczki, które potrafią nam bardzo zaszkodzić.

Słońce emituje światło widzialne i niewidzialne. Do tej drugiej grupy należy promieniowanie ultrafioletowe. Dzięki niemu się opalamy, lecz ponieważ niesie dużo energii, może nas także poparzyć: długa ekspozycja na słońce prowadzi do uszkodzenia DNA, co czasem kończy się rakiem. To dlatego trzeba stosować kremy z filtrem – ich zadanie polega na absorbcji światła ultrafioletowego, nim dotrze ono do skóry. Istnieje też jednak dodatkowa, znacznie skuteczniejsza bariera chroniąca nas przed ultrafioletem – warstwa ozonowa. Ozon to taki krem z filtrem naszej planety. Mój samolot leciał właśnie przez warstwę ozonową, ale nie mógłbym tego stwierdzić, wyglądając przez okno, bowiem ozon jest niewidzialny, podobnie zresztą jak krem po rozsmarowaniu.

Ozon składa się z atomów tlenu. Powietrze, którym oddychamy, zawiera tlen w postaci dwóch związanych atomów (O_2), natomiast cząsteczkę ozonu tworzą trzy (O_3). Gaz ten nie jest zbyt stabilny, a ponieważ cechuje się wysoką reaktywnością, szybko się rozpada. Ma specyficzny, ostry zapach, który się rozchodzi, gdy z jakiegoś urządzenia sypią się iskry i pod wpływem ich energii część O_2 z atmosfery przekształca się w O_3. Lecz o ile w powietrzu, którym oddychamy przy ziemi, nie ma zbyt wiele ozonu, w stratosferze tworzy on war-

stwę chroniącą nas przed ultrafioletem. Cząsteczki CFC po przedostaniu się na taką wysokość pod wpływem wysokoenergetycznych promieni ulegają rozpadowi. Powstają wówczas wysokoreaktywne cząsteczki zwane wolnymi rodnikami, które wchodzą w reakcję z O3 i zmniejszają jego stężenie, niszcząc warstwę ozonową.

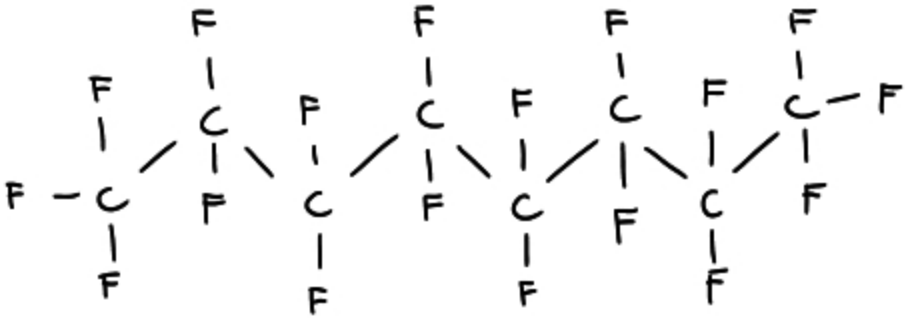
W latach osiemdziesiątych naukowcy zrozumieli degeneracyjne działanie CFC na ozonosferę i jego poważne konsekwencje. W 1985 roku badacze z British Antarctic Survey donieśli, że w warstwie ozonowej nad Antarktydą zieje dziura o powierzchni 20 milionów kilometrów kwadratowych, a na całym globie grubość tej warstwy maleje. Za ten stan rzeczy obarczono winą głównie związki CFC i obłożono ich stosowanie międzynarodowym zakazem, który wszedł w życie w 1989 roku. Zabroniono używania freonu w chłodziarkach, a także suchych pralniach, gdzie zastępowano nim wodę. Jednak mimo szybkiej reakcji społeczności międzynarodowej CFC wciąż jest w obiegu, a w warstwie ozonowej powstały kolejne dziury. W 2006 roku nad Tybetem odkryto jedną o powierzchni 2,5 miliona kilometrów kwadratowych, w 2011 roku nad Arktyką zanotowano zaś rekordowo niskie stężenie ozonu. Ze skutkami dokonanych zniszczeń będziemy się zmagać aż do końca XXI stulecia.

W czasach największej świetności freonu chemicy poświęcili jednak dużo czasu na badanie właściwości cząsteczek opartych na związku węgla i fluoru. Odkryli niezwykłą rodzinę molekuł zwanych perfluorowęglowodorami, czyli PFC. W przeciwieństwie do CFC nie zawierają chloru – to ciecze składające się wyłącznie z atomów węgla i fluoru. Najprostsze cząsteczki tego typu przypominają węglowodory, w których wszystkie atomy wodoru zastąpił fluor.

Wiązania między fluorem a węglem są bardzo silne, a zatem stabil-

ne, dzięki czemu PFC to płyn niemal całkowicie obojętny. Można bez obaw włożyć do niego niemal wszystko. Zanurzony telefon komórkowy będzie działać dalej, jak gdyby nigdy nic. W wiadrze pełnym PFC niektórzy zatapiają nawet pracujące laptopy, bo ciecz chłodzi je wydajniej niż wbudowany wiatraczek i komputer może działać szybciej. Jeszcze bardziej niesamowite jest to, że PFC potrafi pochłonąć mnóstwo tlenu – nawet do 20 procent własnej objętości – a więc można z niego wytwarzać sztuczną krew.

Zamienniki krwi mają długą historię. Utrata krwi to główna przyczyna śmierci, a jedyną metodą jej uzupełnienia jest transfuzja. Do przeprowadzenia takiego zabiegu nie można jednak użyć dowolnej krwi. Istnieją różne jej typy, a transfuzja uda się tylko wtedy, gdy dawca i biorca mają zgodną krew. Na początku XX wieku naukowiec Karl Landsteiner odkrył grupy krwi i oznaczył je jako A, B, 0 i AB. W 1930 roku otrzymał za to Nagrodę Nobla. Dekadę później, po doświadczeniach drugiej wojny światowej, która pociągnęła za sobą mnóstwo ofiar, postanowiono założyć pierwsze banki krwi.



Budowa cząsteczki perfluorowęglowodoru

Z powodu trudności wynikających z dopasowywania posiadanej krwi do jej typów u potrzebujących pacjentów, naukowcy poszukiwali jej funkcjonalnego sztucznego zamiennika, którego opracowanie wyeliminowałoby problemy zgodności grup i w pewnym stopniu odciążyło banki krwi. W 1854 roku niektórzy lekarze stosowali w tym charakterze mleko, odnosząc nawet pewne sukcesy, lecz metoda ta nigdy się nie upowszechniła w medycynie. Próbowano używać też osocza ekstrahowanego ze zwierząt, okazało się jednak, że jest toksyczne. W 1883 roku opracowano substancję zwaną roztworem Ringera – którą stosuje się do dziś – zawierającą sole sodu, wapnia i potasu. Roztwór ten jednak służy głównie do zwiększania objętości płynu w przestrzeni wewnątrznaczyniowej i nie zastępuje krwi.

Dopiero po wynalezieniu PFC badacze zaczęli wierzyć, że naprawdę uda się stworzyć funkcjonalną sztuczną krew. W 1966 roku Leland C. Clark Jr. i Frank Gollan, dwaj badacze kliniczni ze Stanów Zjednoczonych, zaczęli eksperymentować na gryzoniach, którym podawano do oddychania ciekły PFC. Okazało się, że myszy umiały oddychać nawet po całkowitym zanurzeniu w tej substancji, a po wyjęciu podejmowały oddychanie powietrzem. Zakosztowały więc egzystencji ryby, po czym wróciły do swojego ssaczego życia. Oddychanie płynem okazało się możliwe nie tylko dlatego, że płuca myszy potrafiły pobrać tlen rozpuszczony w PFC, lecz także dzięki temu, że ciecz ta była zdolna pochłonąć wydychany przez gryzonie dwutlenek węgla. W toku dalszych doświadczeń ustalono, że myszy mogą oddychać w ten sposób przez kilka godzin. Ostatecznym celem badań jest umożliwienie oddychania cieczą ludziom. W latach dziewięćdziesiątych przeprowadzono pierwsze takie próby. Pacjentów o chorych płucach poproszono o inhalację płynnym PFC, w którym rozpuszczono potrzebne im medykamenty. Terapia okazała się skuteczna, lecz niepozbawiona skutków ubocznych.

Nie wiadomo, dokąd ta dziwna technologia nas zaprowadzi, lecz jeśli PFC w ten czy inny sposób się upowszechni, musimy dobrze poznać jego oddziaływanie na środowisko. Świat uniknął katastrofalnej degeneracji warstwy ozonowej, zakazując stosowania ciekłego CFC i zastępując go płynami, które mniej szkodzą środowisku – funkcję chłodziwa w naszych lodówkach pełni dziś najczęściej butan. Jest co prawda łatwopalny, a jego wyciek może być niebezpieczny, lecz i tak pozostaje mniej groźny niż ciecze używane w czasach Einsteina i w mniejszym stopniu szkodzi planecie. Nasz ozonowy filtr przeciwsłoneczny jest zbyt cenny, by zniszczyć go freonem.

Choć zagrożenie stwarzane przez butan daje się zaakceptować przy produkcji lodówek, z perspektywy lotnictwa jest jednak zbyt wielkie. Obecnie w systemach klimatyzacyjnych samolotów nie używa się ciekłych chłodziw. Zamiast tego powietrze zostaje zassane z zewnątrz – co ma sens, bo jest tam bardzo zimno – i, po kilku cyklach sprężania oraz rozprężania, wykorzystane do chłodzenia kabiny. Wadą takiego rozwiązania jest to, że dopóki samolot stoi na pasie startowym, klimatyzacja nie działa zbyt dobrze, ponieważ powietrze przy ziemi jest ciepłe. To dlatego wszystkim innym wątpliwym przyjemnościom przesiadywania w samolocie w oczekiwaniu na opóźniony start towarzyszy również oblewanie się potem.

Klimatyzacja lotnicza nie tylko reguluje temperaturę i wilgotność powietrza, lecz także wyrównuje ciśnienie w kabinie. Na wysokości 12 kilometrów powietrze nie zawiera dość tlenu, by dało się nim swobodnie – lub w ogóle – oddychać. Dlatego ciśnienie w samolocie musi być znacznie wyższe niż na zewnątrz. Kadłub podlega jednak podobnym naprężeniom jak balon i może się wybrzuszać, co powoduje ryzyko powstawania pęknięć. By je zminimalizować, klimatyzacja wybiera kompromisowe rozwiązanie. Ciśnienie ustawia się tak, by pasażerowie mogli normalnie oddychać, lecz zarazem by nie poddawać kadłuba nadmiernym obciążeniom. Gdy samolot obniża lot, system pompuje do kabiny więcej powietrza, by zrównać ciśnienie wewnątrz z tym panującym na poziomie morza – to dlatego zatykają nam się uszy.

Z powodów bezpieczeństwa w samolotach nie przewozi się ciekłego tlenu. W razie utraty ciśnienia maski opadające z sufitu dostarczają tlen wytworzony przez generator chemiczny, bardzo mały i lekki, co jest ważne na pokładzie samolotu. Podczas moich podróży lotniczych

nigdy nie doszło do uwolnienia masek i zawsze mnie fascynowało, jak dobrze cały ten system jest ukryty. Przyglądałem się sufitowi pod schowkiem bagażowym nade mną, by zorientować się, jak to działa, kiedy steward nachylił się ku mnie z jakąś ważną sprawą. Podał mi kartkę. Najpierw mnie to zdziwiło, lecz po chwili zdałem sobie sprawę, że najwyraźniej zbliżamy się do San Francisco. Nadszedł czas wypełnienia deklaracji celnej. W tym celu potrzebna okazała się kolejna ciecz: tusz.

Nieusuwalna

Otworzyłem stolik i położyłem na nim deklarację celną. Przydałby mi się teraz długopis. Chyba gdzieś jakiś miałem? Nie byłem pewny. Sprawdziłem w kieszeniach. Nic z tego. Torbę podręczną trzymałem pod fotelem, ale z powodu rozłożonego blatu trudno mi było tak się nachylić, by po nią sięgnąć. Mimo wszystko spróbowałem, przyciskając twarz do stolika i wyciągając ramiona w dół ku bagażowi. Dziwnie to wyglądało. Powinienem był najpierw złożyć blat, ale nie wiedzieć czemu, nie zrobiłem tego. W końcu wsunąłem dłonie do torby i na ślepo przeszukiwałem jej wnętrze. Namacałem telefon, zasilacz do laptopa i skarpety. Ponieważ twarz miałem zwróconą ku Susan, mogła oglądać moje grymasy. Zerknęła na moje udręczone oblicze, jakbym był zabiegającym o uwagę dzieckiem. I w końcu bingo! Na dnie torby wyczułem coś podłużnego i okrągłego. Niczym poławiacz pereł uniosłem głowę, wyjmując znalezisko z głębin bagażu. To był rzeczywiście długopis, choć nie przypominałem sobie, bym kiedykolwiek wkładał go do torby. Leżał niezauważony i zapomniany pośród różnych gromadzących się w ciągu życia drobiazgów, monet i papierków po batonikach.

Długopis to kwintesencja narzędzia do pisania. Nie ma prestiżu wiecznego pióra, nie pisze tak ładnie jak żelpen, ale działa na większości rodzajów papieru i robi, co ma robić. Raczej nie wylewa i nie niszczy ubrań. Może miesiącami leżeć na dnie torby, a mimo to zaczyna pisać od pierwszej próby. Do tego jest tak tani, że można go komuś oddać bez większego zastanowienia. Wiele osób traktuje długo-

pisy wręcz jak własność wspólną – jeśli pożyczymy komuś jeden do podpisania dokumentu, a ta osoba zapomni go zwrócić, nie nazwiemy jej złodziejem. Zresztą rzadko kiedy sami pamiętamy, skąd wzięliśmy dany długopis. Jeśli jednak sądzicie, że niska cena długopisu wynika z jego prostej budowy, nie macie racji. Oj, nie macie!

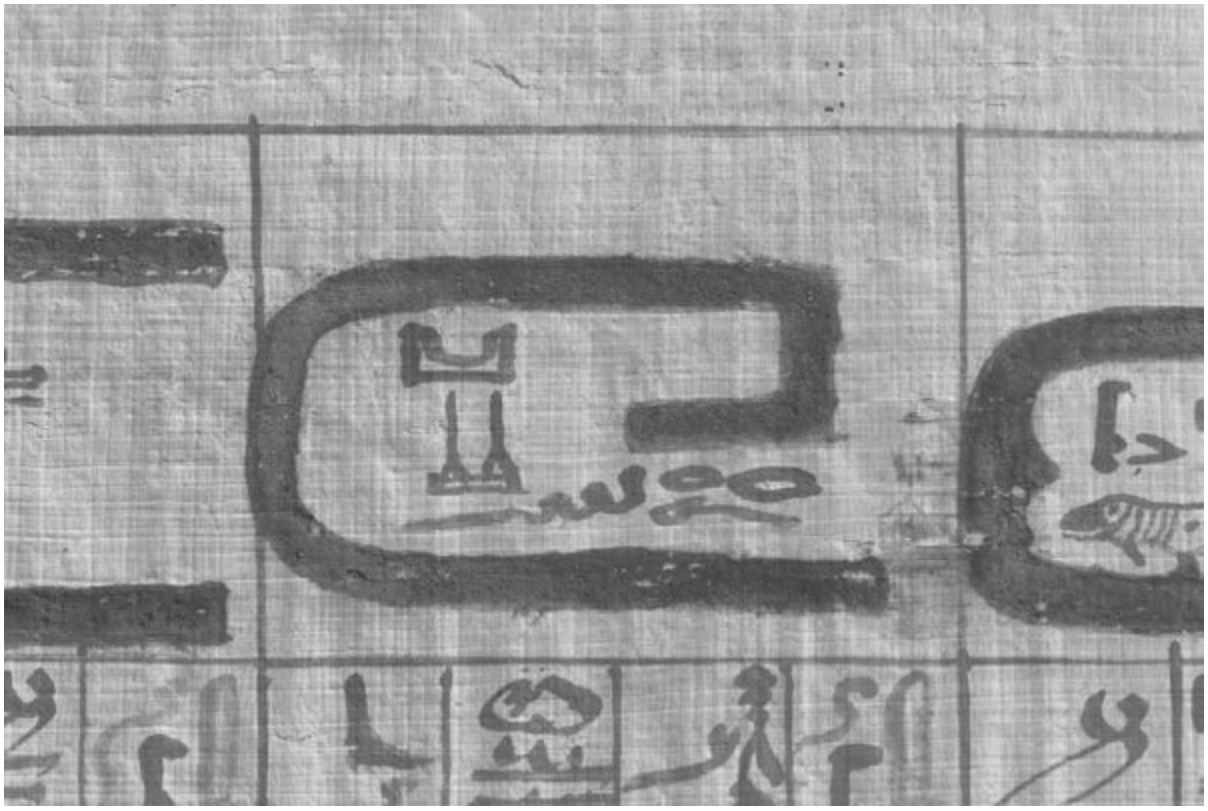
Długopis oczywiście zawiera tusz. To ciecz, która musi pełnić dwie funkcje: po pierwsze, powinna wyciekać na kartkę, a po drugie – zastygać. Pierwszy warunek nietrudno spełnić, w końcu ciecze cieką. Większość z nich także w końcu zastyga. Lecz sprawienie, by działo się to we właściwej kolejności, na zawołanie i na tyle szybko, aby tusz się nie rozmazywał, a napis pozostał czytelny, jest znacznie trudniejsze, niż się wydaje.

Historycy uważają, że pierwszym ludem korzystającym z przyborów do pisania byli Egipcjanie około 3000 roku p.n.e. Używali piór wykonanych najczęściej z bambusa lub innych trzcin o sztywnych, pustych w środku łodygach. Suszyli je i przycinali końcówkę, nadając jej szpiczasty kształt, po którym łatwo spływał atrament. Jednak trzcina musiała mieć odpowiednią wielkość – gdy średnica rurki była wystarczająco mała, napięcie powierzchniowe między tuszem a ścianką trzciny zmniejszało oddziaływanie siły grawitacji, utrzymując barwnik w miejscu. Gdy końcówka pióra dotykała papirusu, który Egipcjanie stosowali w charakterze papieru, jego włókna wsysały tusz dzięki zjawisku włoskowatości – temu samemu, które odpowiada za napływ oleju do knota lampy. Suche włókna wchłaniały zawartą w tuszu wodę, pigment zaś osiadał na powierzchni strony, by po całkowitym odparowaniu wody pozostać na niej na zawsze.

Egipcjanie tworzyli czarny tusz, mieszając sadzę z lamp olejowych z gumą akacjową pełniącą funkcję lepiszcza, zupełnie jak żywica, któ-

rą spajali sklejkę. Guma przyklejała czarny węgiel sadzy do włókien papirusu, a przy okazji sprzyjała rozprowadzeniu tego hydrofobowego pierwiastka w wodzie. Powstawał wówczas gładki, czarny, swobodnie ściekający tusz. Guma arabska – jak się ją nazywa – stosowana jest do dziś i można ją nabyć w większości sklepów plastycznych. Zawarte w niej proteiny sprzyjają rozprowadzaniu w niej różnych pigmentów, można ją więc wykorzystać do wytwarzania substancji barwiących, takich jak akwarele, barwniki do tkanin czy tusze. Egipcjanie postawili na węgiel i okazało się to trafnym wyborem. Atrament węglowy jest prosty w produkcji i wysoce obojętny chemicznie – dzięki jego trwałości możemy dziś czytać egipskie dokumenty sprzed tysięcy lat.

Można by pomyśleć, że to zamyka temat. Ale atrament węglowy nie jest doskonały. Nie nadawałby się dobrze na przykład do wypełniania deklaracji celnych, ponieważ zawiera wodę, przez co nie schnie dość szybko i łatwo go rozmazać. Kiedy zaś wyschnie, guma nie spaja sadzowatego pigmentu z papierem zbyt mocno, więc da się go zetrzeć. Ponieważ uznawano to za zasadnicze wady tego atramentu, w ciągu wieków dokonywano wielu doświadczeń, których celem było wynalezienie czegoś lepszego.



Fragment zwoju papirusu z *Księgi zmarłego skarbnika Sobekmose* ze świątyni Amona (1500–1480 rok p.n.e.)

W końcu wynaleziono atrament galusowy: to nim chrześcijanie spisywali Biblię, muzułmanie Koran, Szekspir swoje dramaty, a prawnicy ustawy parlamentarne. Jest tak dobry, że pozostawał w powszechnym użyciu aż do XX wieku.

By go wytworzyć, wystarczy zanurzyć żelazny gwóźdź w butelce pełnej octu. Ocet powoduje korozję gwoździa i w rezultacie powstaje czerwonobrązowy roztwór pełen naładowanych atomów żelaza. Wtedy do gry wchodzą galasy, zwane też dębiankami. Są to narośla występujące czasem na dębach. Powstają, kiedy osy składają jaja w dębowych pączkach. Wraz z rozwojem pączka owady tak przeobrażają jego komórkową maszynerię, by wytwarzał on pożywienie dla larw.

Szkodzi to roślinie, lecz sprzyja literaturze, ponieważ powstaje wówczas galas – narośl o wysokim stężeniu tanin, która posłużyła dokonaniu rewolucyjnego przełomu w dziedzinie atramentów.

Taniny występują powszechnie w świecie roślin. Wchodzą w skład ich układu obronnego, a mimo to zasmakowały ludziom – jak pewnie pamiętacie, to właśnie one nadają cierpki smak herbacie i czerwonemu winu. Mają wyraźny kolor i łatwo łączą się z białkami, dzięki czemu są w stanie zabarwić wszystko, co je zawiera. Tradycyjnie używano ich do barwienia zawierających sporo kolagenowego białka skór w procesie ich garbowania i dlatego związki te nazywa się także garbnikami. To one odpowiadają za trudne do usunięcia plamy po czerwonym winie i herbacie na odzieży i zębach. Nic więc dziwnego, że używa się ich w produkcji atramentu, którego funkcja w gruncie rzeczy sprowadza się do celowego plamienia. Trudno jest jednak stworzyć ciecz o wysokim stężeniu tanin. I tu na scenę wkracza roztwór żelazowo-octowy. Reaguje on z zawartym w galasach kwasem taninowym i powstaje substancja zwana taninianem żelaza, która łatwo rozpuszcza się w wodzie, tworząc bardzo rzadki roztwór. W kontakcie z włóknami papieru przepływa on dzięki zjawisku włoskowatości do drobnych zagłębień w strukturze kartki i równomiernie je wypełnia. Po odparowaniu wody taninian pozostaje w papierze w postaci niebiesko-czarnych śladów. Atrament galusowy ma wielką przewagę nad węglowym – nie można go zmyć ani usunąć mechanicznie przez pocieranie, ponieważ nie przylega do powierzchni papieru, lecz w niego wnika.

Oczywiście nieusuwalność atramentu galusowego z punktu widzenia piszącego mogła stanowić także jego wadę. Długopisu, którym właśnie wypełniałem deklarację celną, nie trzeba maczać w kałama-

rzu, więc krople atramentu nie wydostają się na zewnątrz. Palce miałem wciąż równie czyste jak zaraz po umyciu rąk płynnym mydłem w łazience. Jednak przez większość historii pisma wcale tak to nie wyglądało. Atrament brudził wszystko dookoła, zwłaszcza palce piszącego, a ponieważ ten galusowy jest bardzo trwały, plam po nim nie dawało się łatwo usunąć – na pewno nie za pomocą mydła. W X wieku pewien kalif z Maghrebu (region ten dziś obejmuje kraje na północnym zachodzie Afryki: Algierię, Libię, Maroko i Tunezję) miał już tego dość. Zażądał od swych inżynierów rozwiązania problemu brudzącego atramentu. Wkrótce, w 974 roku, wręczono mu najprawdopodobniej pierwsze w dziejach pióro wieczne. Miało ono zbiorniczek z atramentem wewnątrz korpusu i podobno nie ciekło nawet trzymane do góry nogami, osobiście uważam to jednak za mało prawdopodobne. Choć nie odmawiam pomysłowości ówczesnym inżynierom, wieczne pióro wynajdowano wielokrotnie w ciągu następnego tysiąclecia i dopiero po kolejnych próbach pod koniec XIX wieku stworzono mechanizm, który naprawdę zabezpieczał przed wyciekami. W XVI wieku Leonardo da Vinci próbował swoich sił na tym polu i pewne dokumenty wskazują, że stworzył pióro piszące zawsze jednolicie ciemną kreską, w przeciwieństwie do powszechnie używanych wówczas piór gęsich (wykonywane nimi zapiski bladły w miarę ubywania atramentu z końcówki). W XVII wieku z całą pewnością istniały wieczne pióra, o których w swoim dzienniku wspomina urzędnik i kronikarz Samuel Pepys, zadowolony, że może wreszcie nosić przy sobie narzędzie do pisania i nie przejmować się kałamarzem. Ówczesne wieczne pióra nie były jednak doskonałe – Pepys wolał mimo wszystko pisać piórem gęsim zanurzanym w atramencie galusowym.

W XIX wieku opatentowano mnóstwo nowych rodzajów wiecznych

piór. O ile we wszystkich stosowano zbiorniczek z atramentem wypływającym w miarę pisania, o tyle nikt nie wymyślił sposobu ograniczania prędkości jego wycieku tak, by nie robił ogromnych kleksów na stronie. Wynalazcy nie mogli zbytnio zmniejszyć otworu zbiorniczka, bo wówczas atrament w ogóle przestałby płynąć, natomiast przez otwór o odpowiedniej, średniej wielkości ciecz od czasu do czasu wypływała na kartkę spontanicznie. Działo się tak dlatego, że w zbiorniczku – co projektanci zaczynali powoli rozumieć – powstawała próżnia.

Wylewając płyn z pojemnika, musimy czymś zastąpić utraconą objętość, w przeciwnym razie w naczyniu powstanie próżnia i ciecz przestanie płynąć. Możecie to zauważyć podczas picia prosto z butelki. Płyn wypływa porcjami, a powietrze próbuje dostać się do wnętrza, by go zastąpić. Każdej porcji towarzyszy odpowiednia ilość powietrza, które wypełnia powstałą próżnię, dzięki czemu ciecz może nadal płynąć. Dzieje się to na przemian: płyn na zewnątrz – powietrze do środka, bul, bul, bul. Jeśli zostawicie szczelinę między ustami a brzegiem otworu butelki, będziecie mogli pić bez przerywania i bulgotów, gdyż powietrze napływa wówczas miarowo. Dlatego łatwiej pije się z naczyń o szerokim otworze, takich jak kubki czy szklanki.

Wczesne wieczne pióra nie miały żadnego mechanizmu wprowadzania powietrza do zbiorniczka, więc atrament nie wyciekał z nich równomiernie. Oczywistym rozwiązaniem wydaje się wykonanie dodatkowego otworu od góry, lecz wówczas pióro obrócone do góry nogami wszystko zabrudzi. Temu wyzwaniu nikt nie sprostał aż do 1884 roku, kiedy amerykański wynalazca Lewis Waterman udoskonalił projekt stalówki – atrament spływał nią w dół dzięki sile grawitacji i zjawisku włoskowatości, a w tym samym czasie powietrze wędrowało

w górę do zbiorniczka. Pomysł ten zapoczątkował złotą erę wiecznego pióra – telefonu komórkowego tamtej epoki. Odmienił sposób, w jaki ludzie się komunikowali, a z pióra uczynił wysoce pożądane dobro. Jego posiadanie sygnalizowało wysoki status osoby jako kogoś, kto zawsze i wszędzie musi mieć przy sobie coś do pisania. I podobnie jak pierwsze telefony komórkowe, laptopy czy inne późniejsze gadżety – było też po prostu *trendy*.

Jak to zwykle bywa, pojawił się jednak kolejny problem. Atrament galusowy ma mocno kwaśny odczyn, więc nowe stalówki szybko rdzewiały. Poza tym płyn ten zawiera malutkie drobinki, które dają się dostrzec na kartce, a w dodatku zatykają kanalik stalówki, uniemożliwiając pisanie. Ludzie z wściekłością potrząsali piórami, usiłując pokonać te niewidoczne przeszkody, ale wtedy rozchlapywali atrament po wnętrzu kawiarni czy ubraniach niczego niespodziewających się osób w ich otoczeniu. Pióro wieczne doczekało się udoskonalenia, lecz atrament nie. Nadszedł czas, by czymś go zastąpić.

Nie było to proste wyzwanie. Nowy atrament musiał spełnić wiele warunków: powinien swobodnie spływać ze zbiorniczka, nie mieć właściwości korozyjnych, wchodzić w reakcję z papierem, trwale barwić i zarazem szybko wysychać. W żargonie inżynierskim jest to problem optymalizacji wielokryterialnej. W końcu zaczęto go rozwiązywać na różne sposoby i każdy producent piór robił to po swojemu. To dlatego, gdy kupujemy pióro, wytwórca przekonuje nas, że należy używać do niego tylko specjalnie zaprojektowanego atramentu. Na przykład firma Parker opatentowała w 1928 roku atrament Quink, by rozwiązać problem kleksów. Wymieszała syntetyczne barwniki z alkoholem, dzięki czemu atrament swobodnie przepływał przez pióro, a na papierze bardzo szybko wysychał. Niestety, prowadził też do

chemicznej degradacji niektórych rodzajów plastiku, takich jak celuloid, których firma zaczęła używać do wytwarzania piór. Nie był też wodoodporny, więc gdy papier zamókł, Quink znów przybierał postać płynną i rozdzielał się na poszczególne tworzące go barwniki – na przykład czarny atrament na żółty i niebieski – co prowadziło do całkowitego rozmycia zapisanych liter.

Pomimo tych problemów większość producentów piór żyła w przekonaniu, że pióro wieczne to przyszłość, a udoskonalenie atramentu pozwoli stworzyć idealne przenośne narzędzie do pisania. Węgierski wynalazca László Bíró miał na ten temat inny pogląd. Postawił problem optymalizacji na głowie. Nim został wynalazcą, pracował jako dziennikarz i zauważył ogromne zalety tuszy stosowanych w maszynach drukarskich – schły bardzo szybko i rzadko powodowały smugi czy kleksy. Do zastosowania w piórach były jednak zbyt lepkie – nie spływały dość szybko i zatykały stalówkę. Bíró pomyślał więc: może zamiast zmieniać atrament, należałoby przeprojektować pióro?

Jego artykuły drukowano na prasie wykonanej z zestawu rolek, które odciskały tusz na ciągłej taśmie papieru. By sprostać codziennemu krajowemu zapotrzebowaniu na miliony egzemplarzy, gazety drukowano bardzo szybko. Prasa wypuszczała tysiące stron na godzinę, więc tusz drukarski, który László tak bardzo podziwiał, musiał schnąć natychmiast, inaczej rozmazałby się podczas składania gazetowych arkuszy. Obmyślając konstrukcję nowego narzędzia do pisania, wynalazca postanowił odtworzyć proces drukarski w miniaturze. Potrzebna była więc jakaś rolka do nieustannego nanoszenia tuszu na papier. W końcu wpadł na pomysł, by zastosować kulkę. Ale jak doprowadzić do niej tusz? Uznał, że tusz drukarski będzie zbyt gęsty i siła grawitacji nie wystarczy, by spłynął ze zbiorniczka do kulki. Na

ratunek przyszło mu osobliwe zjawisko fizyczne – przepływ nienewtonowski.

Istnieje związek między prędkością przepływu cieczy a wywieraną na nią siłą, który określamy pojęciem lepkości. Gęste ciecze, takie jak miód, mają wysoką lepkość i płyną wolno, rzadkie zaś, jak woda, pod wpływem tej samej siły płyną szybko, gdyż cechują się niską lepkością. W przypadku większości płynów zwiększenie wywieranej na nie siły nie zmienia ich lepkości. To zasada przepływu newtonowskiego.

Istnieją jednak inne, dziwne ciecze, które nie grają według reguł określonych przez Newtona. Jeśli na przykład zmieszać mąkę kukurydzianą z odrobiną zimnej wody, powstanie zawiesina, która zachowuje się jak rzadka ciecz, gdy mieszamy ją delikatnie, lecz pod wpływem szybkiego mieszania nabiera lepkości i zachowuje się niemal jak ciało stałe. Gdy uderzyć dłonią w jej powierzchnię, nie rozpryśnie się, tylko stawi wyraźny opór. Jest bowiem tak zwaną cieczą nienewtonowską – nie ma ustalonego parametru lepkości, który opisywałby sposób jej przepływu.

Zawiesinę z mąki kukurydzianej nazywa się też oobleck (nazwa ta pochodzi z książki doktora Seussie zatytułowanej *Bartholomew and the Oobleck*). Na nienewtonowskie zachowanie ooblecku wpływa jego struktura wewnętrzna. Płyn taki na poziomie mikroskopowym zawiera wiele malutkich, gęsto upakowanych w wodzie cząstek skrobi. Przy małej prędkości mieszania cząstki te mają dość czasu, by znaleźć jakąś drogę przepływu obok siebie, tak jak pasażerowie wychodzący z przeładowanego pociągu – jest to normalny sposób przepływu tej zawiesiny. Gdy zmusi się je jednak do szybkich ruchów, na przykład gwałtownie mieszając płyn lub uderzając w jego powierzchnię, cząstki skrobi nie nadążają z wyszukiwaniem tras i zatrzymują się w miej-

scu. Tak jak się to dzieje w wagonie, gdy pasażerowie nie mogą wysiąść z powodu zatoru przy drzwiach wyjściowych, tak i tutaj zablokowanie kilku pierwszych cząstek powstrzymuje ruch całej reszty, a płyn nabiera lepkości.

Oobleck to niejedyna ciecz nienewtonowska. Jeśli kiedyś malowaliście ściany farbą emulsyjną, zauważyliście pewnie, że w wiaderku wydaje się ona gęsta prawie jak galareta. Jednak podczas dokładnego mieszania – jak nakazuje instrukcja – staje się bardziej płynna. Znów jednak zamieni się w galaretę, gdy tylko zatrzymacie szpatułkę. To kolejne zachowanie nienewtonowskie – tym razem jednak w wyniku oddziaływania siły ciecz płynie swobodniej, zamiast nabierać lepkości. I tu także za taki stan rzeczy odpowiada jej struktura wewnętrzna. Farba emulsyjna to w większości woda z mnóstwem zawieszonych w niej kropelek oleju. Jeśli pozostawić je w spokoju, przyciągają się do siebie nawzajem, tworząc luźno związaną strukturę, w której więzną molekuły wody. Wystarczy zamieszać tę galaretę, by przerwać jej wiązania – woda zostaje wówczas uwolniona, co zwiększa zdolność przepływu cieczy. To samo dzieje się, gdy farba podlega ciśnieniu wcierającego ją w ścianę pędzla. Gdy tylko odrywamy go od podłoża i ciśnienie ustępuje, wiązania między kroplami oleju formują się na nowo i farba nabiera lepkości, tworząc gęstą warstwę, która nie ścieka w dół. Tak to przynajmniej wygląda w teorii. W praktyce wszystko sprowadza się do tego, w jakim stopniu chemicy opracowujący skład farby potrafią kontrolować siłę wiązań między kroplami oleju, a także ich rozmiar i liczbę. Trzeba się sporo napracować, by odpowiednio dobrać wszystkie te czynniki, dlatego puszka naprawdę dobrej farby może słono kosztować.

Nawet jeżeli nie interesujecie się malowaniem ścian czy dekoracją

wnętrz, z pewnością natknęliście się na ciecze nienewtonowskie w kuchni. Keczup, podobnie jak farba emulsyjna, rzednie pod wpływem przyłożonej siły. Siedzi w butelce, dopóki się nią nie potrząśnie, a wówczas nagle z niej wystrzeliwuje. Trudno więc kontrolować szybkość jego przepływu – jeśli nie użyje się dość dużo siły, wycieka bardzo powoli, ale gdy porządnie wstrząsnąć butelką, lepkość raptem spada, a keczup rozpryskuje się po całym talerzu.

Jeden z najniebezpieczniejszych przypadków nienewtonowskiego zachowania cieczy występuje wtedy, gdy piach zmiesza się z wodą i powstanie substancja nazywana grząskim piaskiem. Przejawia cechy ciała stałego, dopóki nie zostanie poddana ciśnieniu, a wówczas rzednie i w procesie tak zwanego upłynnienia zamienia się w ciecz. To dlatego, gdy człowiek wejdzie na grząskie piaski, im mocniej się szarpie, tym szybciej tonie. Wbrew temu, co widać na filmach, trudno jednak wówczas zginąć: ten piaszczysty płyn ma gęstość większą od ciała, więc po zanurzeniu po pierś człowiek wypływa. Mimo to trudno się wydostać z pułapki, bo jeśli ofiara się nie rusza, płyn gęstnieje i twardnieje wokół niej, a jeśli walczy – rzednie, a wtedy ciężko znaleźć oparcie dla stóp. Innymi słowy, człowiek tkwi w potrzasku, dopóki ktoś nie przyjdzie mu z pomocą. Jeśli nikogo nie ma w pobliżu, robi się naprawdę groźnie.

Jeszcze niebezpieczniejsze od grząskich piasków jest jednak zjawisko upłynnienia podczas trzęsień ziemi. To kolejny śmiertelnie groźny przykład przepływu nienewtonowskiego. Ciśnienie wywoływane przez wibracje skorupy ziemskiej prowadzi do upłynnienia gleby, co przeważnie pociąga za sobą ogromne zniszczenia. Przypomnijcie sobie trzęsienie w Nowej Zelandii, które w 2011 roku nawiedziło miasto Christchurch, powodując znaczne upłynnienie ziemi. Wiele budyn-

ków legło w gruzach, a ulice przykryły tysiące ton piachu i szlamu.

Zmniejszanie się lepkości cieczy oparte na zasadzie przepływu nienewtonowskiego było tym, czego potrzebował László Bíró, by zaprojektować pióro zasilane tuszem drukarskim. Uznał, że dzięki temu zjawisku tusz będzie płynął swobodnie podczas pisania, lecz na kartce natychmiast zgęstnieje i zastygnie, nie rozmazując się. Wynalazca i jego brat, który także był chemikiem, podjęli pierwsze próby stworzenia doskonałego narzędzia do pisania. Po długich zmaganiach, w trakcie których wskutek wybuchu drugiej wojny światowej musieli wyemigrować do Argentyny, w końcu opracowali działający prototyp. W ich konstrukcji zbiorniczek z tuszem styka się z malutką, obracającą się kulką. Podczas pisania wywiera ona na tyle mocny nacisk na tusz, że jego lepkość spada, co powoduje, że ścieka na kulkę. Pokrywszy jej powierzchnię, znów staje się lepki i gęsty aż do chwili kontaktu z papierem, gdy pod naciskiem na powrót zamienia się w rzadką ciecz. Po uniesieniu pióra – i zaniku ciśnienia – tusz gęstnieje, a zawarte w nim rozpuszczalniki natychmiast wyparowują, na papierze zaś pozostaje trwały ślad. Genialne!

Z biegiem lat, czego można się było spodziewać, przepisy na doskonały tusz zostały objęte tajemnicą handlową, lecz by się przekonać, jak dobrze sprawdzają się w praktyce, wystarczy napisać kilka słów długopisem na kartce, a potem spróbować je rozetrzeć. Będzie to bardzo trudne. To niejedyna przewaga nienewtonowskiego tuszu stosowanego w długopisach nad newtonowskim atramentem w zbiorniczkach wiecznych piór. W przeciwieństwie do atramentu, tusz nie robi kleksów na papierze, ponieważ nie przepływa na zasadzie zjawiska włoskowatości. Został opracowany tak, by wykazywać niskie napięcie powierzchniowe w zetknięciu z włóknami celulozy oraz proszkami ce-

ramicznymi i plastyfikatorami, którymi powleka się powierzchnię papieru w celu nadania mu połyskliwości (tak zwane kredowanie). Atramenty do piór i inne ciekłe substancje barwiące wykazują znaczne napięcie powierzchniowe w styku z papierem kredowym, toteż pozostają na jego powierzchni i rozpadają się na małe kropelki. Zauważyliście to na pewno, jeśli próbowaliście napisać coś piórem na kartce kolorowego czasopisma lub podpisać nim kartę kredytową – atrament nie przywiera. Tusz natomiast zasycha na każdej powierzchni i pozostaje dokładnie tam, gdzie go naniesiono, nawet jeśli długopis trzymany był do góry nogami. Nie ścieka bowiem za sprawą siły ciążenia, tylko zostaje rozprowadzony za pomocą obracającej się kulki.

Jeśli próbowaliście kiedyś pisać długopisem odwróconym do góry nogami, odkryliście jego kolejną zaletę. Zarówno długopis, jak i pióro przestaną działać, jeżeli w zbiorniczku powstanie próżnia. Konstrukcja długopisu pozwala jednak temu zapobiec, ponieważ szczyt zbiorniczka stale pozostaje otwarty. Tusz nie wypływa – jest bardzo lepki i aby wyciekł, trzeba go poddać wysokiemu ciśnieniu. Sprytne, co? Los sprzyja w tym wypadku zapominalskim: można na kilka miesięcy zostawić długopis na dnie torby, a tusz i tak nie wycieknie i niczego nie pobrudzi. I to nawet jeśli wsuniecie go do kieszeni, zapominając nałożyć skuwkę.

Długopis okazał się tak dobrze pomyślanym, skutecznym i odpornym na upływ czasu przyborem do pisania, że już pierwsi producenci w ogóle zrezygnowali ze skuwki. Wystarczy przecież wsunąć zbiorniczek i końcówkę z kulką z powrotem do korpusu narzędzia, kiedy jest nieużywane. Nietrudno było zaprojektować takie rozwiązanie – w ten sposób narodził się długopis z przyciskiem. Pstryk – można pisać. Pstryk – końcówka się chowa. Maghrebski kalif na pewno bardzo by

się ucieszył na widok przyboru, który w ogóle nie brudzi, i rozkoszowałby się pstrykaniem przycisku długopisu.

Bracia Bíró wprowadzili na rynek pierwsze długopisy już po emigracji do Argentyny. Sprzedawali je na tony rozmaitym klientom, w tym Królewskim Siłom Powietrznym, których nawigatorzy zastąpili nimi używane do tej pory, lecz cieknące na dużej wysokości wieczne pióra. Popatrzyłem z szacunkiem na trzymany w ręku długopis – członkowie załóg bombowców należeli do pierwszych ludzi używających tego narzędzia i cieszyłem się na myśl, że teraz ja sam, lecąc ponad chmurami, wypełniam deklarację celną potomkiem tamtych pierwszych długopisów. Według największego obecnie producenta długopisów, francuskiej firmy Bic, od chwili wynalezienia sprzedały się one w ponad 100 miliardach egzemplarzy.

László Bíró zmarł w 1985 roku, lecz scheda po nim żyje. W Argentynie 29 września – w dniu jego urodzin – świętuje się Dzień Wynalazców, a w Wielkiej Brytanii do dziś na długopis mówi się czasem *biro*.

Oczywiście wiele osób nie znosi długopisów, choć mają one wiele praktycznych zalet. Ludzie pomstują na ten wynalazek, twierdząc, że zhańbił sztukę odręcznego pisania. To fakt – za pomocą tego przenośnego, nierozmazującego znaków, niecieknącego, trwałego, taniego i powszechnie dostępnego przyboru do pisania kreśli się linie o zawsze jednakowej szerokości, określonej wielkością kulki. Co więcej, szerokość ta – inaczej niż w przypadku wiecznych piór lub innych przyborów opartych na przepływie newtonowskim – nie zmienia się zależnie od szybkości pisania, ponieważ tusz przestaje wypływać z wkładu długopisu w chwili oderwania go od strony. Pisanie długopisem ma głównie wymiar praktyczny i nie oddaje indywidualnego charakteru

jego użytkownika w wyraźny sposób. Sądzę jednak, że wpływ długopisu na społeczeństwo można porównać do wpływu roweru. Zajmujący się cieczami inżynierowie rozwiązali wielowiekowy problem, dając nam niezwykle użyteczny produkt, który jest tak tani, że wielu ludzi uważa długopisy za dobro wspólne.

Gdy kończyłem wypełniać formularz, byłem już tak zachwycony swoim długopisem, że nie mogłem go wrzucić do torby, skazując na kolejne miesiące zapomnienia. Zastanawiałem się, co z nim zrobić, gdy uświadomiłem sobie, że patrzy na mnie Susan. Była to inna Susan od tej, z którą spędziłem większość lotu – uśmiechnięta. Trzymając na stoliku przed sobą formularz, wykonała gest naśladujący pisanie – prosiła mnie o pożyczenie długopisu.

Chmurna

„Ping” – dobiegło z interkomu, po czym usłyszałem komunikat załogi:

– Szanowni państwo, rozpoczynamy podejście do lądowania w San Francisco. Proszę wyprostować oparcia foteli do pozycji pionowej, złożyć stoliki i zapiąć pasy, a bagaż wsunąć pod fotel przed sobą lub do schowka nad głową. Dziękuję.

Samolot zaczął obniżać lot, a ja poczułem strzykanie w uszach. Ogarnęło mnie niecierpliwe wyczekiwanie, jakby niebawem moje życie miało podjąć normalny rytm po okresie zawieszenia na czas lotu. W podróży, w zamian za to spowolnienie, otrzymałem poczucie wszechmocy. W przestworzach chmury nie mogły mnie oblać deszczem ani bezceremonialnie pozbawić światła, jak to robią w rodzinnym Londynie, wpędzając mnie w przygnębienie. Tu, na górze, promienista smuga wpadała przez okno, a nigdy niezachodzące słońce grzało mnie w twarz. Lecz wtedy samolot nieoczekiwanie zanurzył się w obłoki – słońce zniknęło, a wszelkie widoki zastąpiła biała mgła, która odebrała mi poczucie wszechmocy i bezpieczeństwa. Zasłona dymna!

Chmura, w którą wlecieliśmy, jak wszystkie chmury składała się z kropelek niemal czystej wody. Słowo „niemal” jest tu kluczowe – ponieważ deszczówka nie jest wcale nieskazitelna, deszcz brudzi szyby, a mgła powstaje tylko w określonych miejscach. Mało tego, woda, z której złożone są obłoki, nie tylko nie jest czysta i niewinna, lecz może wręcz zabijać. W dzień i w nocy gdzieś na Ziemi szaleją burze, a

pioruny biją ze średnią globalną częstotliwością 50 na sekundę. Szacuje się, że co roku ponad tysiąc osób ginie wskutek porażenia piorunem, natomiast dziesiątki tysięcy odnoszą rany. Amerykańska służba meteorologiczna prowadzi statystykę śmiertelnych ofiar burz i rejestruje wszystkie takie przypadki. Poniżej zamieszczam fragment tabeli ze spisem niektórych zgonów. Zobaczycie, że chowanie się pod drzewem to kiepski pomysł i że niebezpieczeństwo czyha wszędzie. Ale czy piorun może nas dopaść w samolocie? To pytanie warte odpowiedzi.

Chmury zaczynają jako mokre pranie na sznurze, uliczna kałuża, pot na górnej wardze lub ogromne oceaniczne przestwory. W każdej sekundzie cząsteczki H2O unoszą się znad prania, kałuż, warg, oceanów i innych zbiorników wodnych, by poszybować w powietrze. Woda na poziomie morza wrze i zamienia się w gaz w temperaturze 100°C. Jak więc to możliwe, że ulatnia się także poniżej 100 stopni? I po co określać temperaturę wrzenia cieczy, skoro woda oszukuje i paruje z wargi, kałuży czy oceanu, kiedy chce, nawet w znacznie chłodniejszych warunkach?

DZIEŃ	STAN	MIASTO	WIEK	PŁEĆ	MIEJSCE	OKOLICZNOŚCI
Pt.	LA	Larouse	28	K	Namiot	Festiwal muzyczny
Pt.	FL	Hobe Sound	41	M	Łąka	Piknik rodzinny
Pt.	FL	Boynton Beach	23	M	Przy drzewie	Praca przy domu
Śr.	MS	Mantachie	37	M	Przy oborze	Jazda konna
Śr.	LA	Slidell	36	M	Plac budo-	Praca

					wy	
Pon.	FL	Hrabstwo Manatee	47	M	Gospodarstwo	Załadunek pick-upa
Pt.	FL	Daytona Beach	33	M	Plaża	Stanie w wodzie
Sob.	MO	Festus	72	M	Podwórze	Stanie z psem
Pn	MS	Lumberton	24	M	Podwórze	Stanie
Nd.	LA	Pineville	45	M	Parking	W drodze do auta
Czw.	TN	Dover	65	K	Pod drzewem	Kemping
Czw.	LA	Baton Rouge	70	M	Pod drzewem	Prace dekarskie
Czw.	AL	Redstone Arsenal	19	M	Przed budynkiem	Konserwacja
Czw.	VA	Hrabstwo Bedford	23	M	Przy drodze	Wędrówka
Sob.	NC	Hrabstwo Yancey	54	M	Pod drzewem	Jazda motocyklem
Wt.	CO	Arvada	23	M	Pod drzewem	Gra w golfa
Wt.	AL	Hrabstwo Lawrence	20	M	Podwórze	Oglądanie burzy
Śr.	AZ	Hrabstwo Coconino	17	M	Pod szczytem góry	Wędrówka górska
Pt.	UT	Flaming Gorge	14	K	Zbiornik wodny	Skuter wodny

Fragment sporządzonej przez amerykańską służbę meteorologiczną tabeli ze spi-

sem śmiertelnych ofiar uderzenia pioruna w USA

Warto zacząć od tego, że definicje ciała stałego, cieczy czy gazu nie są tak jednoznaczne, jak mogą się wydawać, a złożoność świata nieustannie podkopuje reguły gry w kategoryzację i definiowanie zjawisk, w którą grają naukowcy. Aby zrozumieć, do jakich sztuczek ucieka się woda, by stworzyć chmury, musimy przywołać ważną koncepcję entropii.

Woda tkwiąca w ubraniach na sznurze ma mniej niż 100°C, ale styka się z powietrzem, którego chaotycznie poruszające się cząsteczki nieustannie bombardują suszącą się odzież. Od czasu do czasu w tym zamieszaniu molekuła H_2O odrywa się i miesza z powietrzem. By przerwać więzi łączące cząsteczki wody z praniem, potrzeba odrobiny energii, która zostaje odebrana schnącemu materiałowi i w ten sposób go chłodzi. Gdyby jednak unosząca się w powietrzu cząsteczka H_2O znów zderzyła się z praniem i do niego przylgnęła, zyskałaby energię, ono zaś – wilgotność. Można by pomyśleć, że do wywieszonych ubrań powinno przylegać więcej niesionej wiatrem wilgoci, niż się od nich odrywać. Lecz tu do gry wkracza entropia. Ponieważ powietrza wirującego wokół prania jest dużo, a cząsteczek wody niewiele, szansa, że jedna z nich powędruje z powrotem w stronę prania, pozostaje mała. Znacznie bardziej prawdopodobne jest, że wyfrunie hen, w atmosferę. Skłonność cząsteczek do mieszania się i rozpraszania określana jest właśnie entropią systemu. Entropia – która, jak głosi jedno z praw natury, ma tendencję do stałego wzrostu – przeciwstawia się siłom kondensacji kierującym wodę z powrotem do wywieszonego prania. Im chłodniej na dworze i im szczelniej osłonięty od wiatru jest sznur na bieliznę, tym większy wpływ zyskuje kondensacja, a wówczas pranie pozostaje mokre. Jeśli natomiast wywiesi się

je w ciepły dzień, szala przechyla się na korzyść entropii i odzież schnie.

Entropia zajmuje się także kałużami na ulicy, łazienką pełną wilgoci po wzięciu prysznica czy potem występującym na ciało w upalny dzień. Ogólnie rzecz biorąc, wydaje się ona bardzo użyteczna i pomocna, bo przecież lubimy mieć suche pranie i chłodną skórę. Lecz ta sama dobrotliwa siła tworzy zabójcze chmury i ciska gromy, które każdego roku pochłaniają tysiące ofiar, przypominając nam, kto naprawdę rządzi w atmosferze.

Powstawanie chmury burzowej zaczyna się od cząsteczek wody, które odparowały i poruszają się w powietrzu w postaci gazu. Gorące powietrze unosi się, gdyż jest bardziej rozrzedzone od zimnego, toteż w ciepły dzień oderwane od prania molekuły wody będą zmierzać w górę, do atmosfery. Powietrze, choć pełne wody, pozostaje przezroczyste, więc początkowo nic nie zapowiada powstawania obłoków. Gdy jednak opary unoszą się coraz wyżej, powietrze ulega ekspansji i schłodzeniu, a równowaga termodynamiczna zostaje zaburzona na rzecz cząsteczek H_2O, które chciałyby się na powrót skondensować do postaci cieczy. Ale pojedyncza cząsteczka w powietrzu nie może zamienić się znowu w wodę. By powstały krople, wiele molekuł musi się połączyć w zorganizowany sposób. W chaotycznej, turbulentnej atmosferze nie dzieje się to łatwo, lecz procesowi temu sprzyjają obecne w powietrzu drobinki materii stałej – cząstki pyłu porwane z drzew albo obecne w dymie z fabrycznych kominów. Molekuły H_2O przyłączają się do nich, a gdy zbierze się ich dość dużo, pyłek zamienia się w malutką kroplę. To dlatego zbierana deszczówka zwykle zawiera osady, a deszcz, wysychając na szybie samochodu lub domu, pozostawia delikatny nalot.

Na tych zjawiskach fizycznych oparto jeden z najbardziej niezwykłych eksperymentów XX wieku. Otóż naukowcy postanowili zapanować nad pogodą. Metoda ta, nazwana zasiewaniem chmur, została opracowana w 1946 roku przez amerykańskiego badacza Vincenta Schaefera. Wraz ze swoim zespołem ustalił on, że rozpylone w atmosferze kryształki jodku srebra pełnią funkcję pyłu lub dymu: stają się jądrami kondensacji kropelek – nasionkami chmur, z których może spaść śnieg lub deszcz. Technika ta jest w równej mierze nauką, co sztuką, i choć stosuje się ją powszechnie od dekad, wiele osób podważa jej skuteczność.

Mimo to w ZSRR zasiewano chmury nad Moskwą co roku. Obecną w powietrzu wilgoć zamieniano w deszcz, aby uroczystości z okazji pierwszomajowego Święta Pracy odbywały się pod błękitnym niebem. Podczas wojny z Wietnamem amerykańskie wojsko używało podobnej techniki w innym celu: chodziło o przedłużenie pory monsunowej na szlaku Ho Chi Minha w ramach Operacji Popeye, której hasło brzmiało „Błoto zamiast wojny". Dziś w różnych krajach na całym świecie, takich jak Chiny, Indie, Australia i Zjednoczone Emiraty Arabskie, eksperymentuje się z zasiewaniem chmur, by powstrzymać susze. Oczywiście w ten sposób wpływa się na tylko jeden aspekt pogody – formowanie się chmur. Jeśli zawartość wilgoci w atmosferze jest niska, żadna ilość jodku srebra nie wywoła deszczu. Gdy jednak powietrze zawiera dużo cząsteczek wody, zwiększanie opadów śniegu nad kurortami narciarskimi lub zmniejszanie ryzyka strat spowodowanych gradobiciem może się okazać korzystne. Po katastrofie elektrowni jądrowej w Czarnobylu w 1986 roku zasiewano chmury, by za pomocą deszczu oczyścić atmosferę z cząstek radioaktywnych.

Samoloty nie potrzebują jodku srebra, by zasiewać chmury. Popa-

trzcie w niebo w słoneczny dzień, a pewnie zobaczycie smugi kondensacyjne pozostawiane przez odrzutowce. To nie dym buchający z zepsutego silnika, tylko obłok zasiany wskutek cząstek emitowanych przez maszynę. Są to drobiny pozostałe po procesie spalania oraz ogromne ilości bardzo gorącego gazu. Pcha on samolot naprzód i choć można by się spodziewać, że w tak wysokiej temperaturze nie uformują się kropelki wody, w mroźnej stratosferze gaz szybko się ochładza, a wyemitowane cząstki stają się zarodkami kondensacji i formowania się kropel, które następnie zamieniają się w lodowe kryształki. Smugi kondensacyjne to po prostu zwiewne wysokie cirrusy.

Zależnie od panujących w atmosferze warunków smugi takie mogą się utrzymywać od kilku minut do kilku godzin, a ponieważ widać ich sporo (na świecie każdego dnia odbywa się 100 tysięcy lotów, i każdy pozostawia smugę), wiele osób podejrzewa, że muszą oddziaływać na globalny klimat. Zdrowy rozsądek podpowiada, że chmury schładzają Ziemię – doświadczył tego każdy, kto siedział na plaży w pochmurny dzień. Chmury odbijają jednak nie tylko promienie słoneczne w kosmos, lecz także emanujące z Ziemi promieniowanie podczerwone z powrotem ku powierzchni planety. Najwyraźniej daje się to odczuć w zimie, kiedy pod zachmurzonym niebem bywa cieplej niż pod czystym, ponieważ nocą uciekające z gleby ciepło zostaje odbite przez chmury. Rozmaite rodzaje obłoków (różniące się barwą, gęstością i rozmiarem) uformowane na różnych wysokościach mogą wywierać odmienny wpływ na klimat. Ogólnie rzecz biorąc, na ważne pytanie, czy smugi kondensacyjne obniżają czy podwyższają średnią temperaturę na Ziemi, nauka nie udzieliła jeszcze odpowiedzi.

Zbadanie tego zagadnienia wymagałoby porównania średniej glo-

balnej temperatury przy obecności smug kondensacyjnych oraz bez nich. Ale gdzieś w stratosferze zawsze przelatuje odrzutowiec. Kiedy samoloty lądują nocą w Ameryce, na Dalekim Wschodzie i w Australii właśnie startują, a gdy tam ustaje ruch, wzbijają się do lotu maszyny w Europie – i tak przez 24 godziny na dobę, 7 dni w tygodniu. W powietrzu nieustannie przebywa ponad milion ludzi. W najnowszych dziejach liczba ta zmalała tylko raz – po atakach terrorystycznych na wieże World Trade Center w Nowym Jorku. Wskutek wydarzeń z 11 września 2001 roku wszystkie samoloty w Stanach Zjednoczonych uziemiono na trzy dni. Pomiary z 4000 stacji meteo rozmieszczonych w całym kraju wykazały, że 11 września różnica między temperaturą za dnia i w nocy była wyższa od normalnej średnio o 1°C. To oczywiście tylko jedno badanie wykonane o jednej porze roku – jesienią. Możliwe, że zimą, wiosną czy latem, kiedy pokrywa chmur i specyfika lokalnego klimatu są inne, smugi kondensacyjne obniżałyby temperaturę, zamiast ją podnosić. Prowadzi się na ten temat wiele badań, lecz uzyskanie odpowiedzi nie będzie proste – klimat to złożony system. Trudno sobie wyobrazić okres całkowitego ustania ruchu lotniczego, podczas którego można by zgromadzić więcej danych, ponieważ transport lotniczy stał się zbyt ważnym elementem światowej kultury. Mimo wszystko toczy się intensywna naukowa debata na temat kontroli temperatury w skali globu za pomocą zasiewania chmur oraz możliwości ewentualnego odwracania skutków zmian klimatu. Wielu badaczy przypuszcza, że można by zmniejszyć wpływ promieniowania słonecznego na klimat, zwiększając zdolność atmosfery do odbijania światła przez nadanie chmurom bielszego odcienia. Oczywistym sposobem przetestowania tej teorii byłoby celowe wytwarzanie smug kondensacyjnych. Eksperymenty takie są bardzo kontro-

wersyjne, lecz niektórzy sądzą, że i tak już się je w tajemnicy prowadzi. Osoby wierzące w „spisek smugowy" twierdzą, że niektóre smugi utrzymują się na niebie stanowczo za długo i jedynym wyjaśnieniem tego stanu rzeczy jest to, że wytworzono je za pomocą aerozoli i innych chemikaliów. Niektórzy zwolennicy tej teorii spiskowej idą o krok dalej i uważają, że za pomocą smug kondensacyjnych władze rozpylają nad krajami różne ciecze, aby przy użyciu środków chemicznych manipulować ludnością.

Autorzy takich tez grają na uzasadnionych obawach, że można nas kontrolować lub zatruć przez skażenie wody pitnej. To realne zagrożenie. Zdarzało się już, że w rezultacie zatrucia ujęć wody ucierpiały spore populacje. Całkiem niedawno, w 2014 roku, mieszkańcy miasta Flint w stanie Michigan zostali zatruci ołowiem, który przedostał się do wody wskutek niekompetencji władz. Wybuch epidemii cholery w Jemenie w 2016 roku – do dziś odnotowano tam niemal milion przypadków tej choroby – nastąpił wskutek awarii systemu doprowadzania wody pitnej. Nie dziwi więc, że wątek masowego zakażenia czy zatrucia zyskał z czasem wielką popularność w literaturze i kinie. Bodaj najsłynniejszym dziełem, w którym się pojawił, jest film *Doktor Strangelove*. Jeden z jego bohaterów, generał Jack D. Ripper, uważa dodawanie fluoru do wody pitnej w Stanach za komunistyczny spisek mający na celu podkopanie amerykańskiego stylu życia: „Nie będę się bezczynnie przyglądał, jak międzynarodowy spisek komunistów osłabia i zanieczyszcza nasze cenne płyny ustrojowe" – mówi, po czym rozpoczyna atak atomowy na ZSRR.

W tym filmie, który chyba najlepiej w dziejach kina pokazuje możliwe okoliczności rozpętania wojny atomowej przez jedno państwo, celnie wskazano zanieczyszczenie wody jako potencjalny powód glo-

balnego konfliktu. Bez czystej wody pitnej nie można żyć, a w razie jej zanieczyszczenia czy skażenia śmierć i choroby mogą zebrać ogromne żniwo. Zanim odkryto, że chorobę tę wywołują obecne w wodzie bakterie, z powodu epidemii cholery w XIX wieku umarły dziesiątki milionów ludzi.

Wodę, jak wszystkie płyny, bardzo trudno kontrolować. Rozlewa się wszędzie – płynie w jeziorach, rzekach i oceanach, ulatnia się w przestworza. Lęk przed jej skażeniem odczuwamy dziś wyjątkowo mocno. Wodę spadającą z chmur niełatwo jednak ochronić, a to właśnie ją w większości pijemy. Chmury nie znają granic: eksperymenty, katastrofy czy działania w jednym kraju mogą bezpośrednio wpłynąć – i wpływają – na resztę świata.

Film *Doktor Strangelove* pomyślano jako satyrę, ale podejrzenia oraz lęki wywoływane w nas przez wizję potencjalnego skażenia wody, którą nawadniamy nasze ciała, są realne i pewnie nigdy się ich nie pozbędziemy.

„Bez naszej wiedzy, nie dając nam żadnego wyboru, wprowadzają do naszych drogocennych płynów ustrojowych obce substancje. Tak właśnie działają zatwardziałe komuchy" – mówi generał Jack D. Ripper. „Zatwardziałych komuchów" wystarczy zastąpić „władzami", „kapitalistycznymi korporacjami", „naukowcami", a nawet „obrońcami przyrody", by otrzymać esencję zasadniczej części argumentacji przeciw rozmaitym działaniom państwa, takim jak program szczepień, chlorowanie wody czy nawet produkcja energii. Przykłady można mnożyć – wystarczy przyjrzeć się sprawie kwaśnego deszczu.

Węgiel często zawiera zanieczyszczenia w postaci siarczanów i azotanów, które po spaleniu zamieniają się w dwutlenek siarki i tlenek azotu. Gazy te unoszą się i mieszają z powietrzem atmosferycznym, a

następnie rozpuszczają w kropelkach, z których składają się chmury. Kropelki te nabierają wówczas kwaśnego odczynu, a kiedy wracają na ziemię pod postacią deszczu, zakwaszają rzeki, jeziora i gleby, co prowadzi do śmierci ryb i roślin oraz zniszczenia lasów. Kwaśny deszcz powoduje także korozję budynków, mostów czy innych elementów infrastruktury, i to nawet w bardzo dużej odległości od miejsca spalenia węgla, na przykład na obszarze innego kraju. Pociąga to za sobą nie tylko problemy środowiskowe, ale i polityczne. Mechanizm powstawania kwaśnego deszczu poznano podczas dziewiętnastowiecznej rewolucji przemysłowej, lecz dopiero w latach osiemdziesiątych XX wieku państwa Zachodu, które w największym stopniu przyczyniały się do zakwaszania opadów, zaczęły wspólnie przeciwdziałać temu zjawisku.

Po katastrofie jądrowej w Czarnobylu w 1986 roku chmury spowodowały kolejny międzynarodowy problem. Kiedy stało się jasne, że pierwiastki radioaktywne uwolnione wskutek wybuchu w elektrowni przedostały się do atmosfery, wszyscy zrozumieli, że to, które kraje zostaną najbardziej dotknięte skutkami wypadku, zależeć będzie w przeważającej mierze od kierunku wiatru. Jednym z tych państw była Wielka Brytania – angielscy i walijscy hodowcy owiec ucierpieli wskutek radioaktywnego deszczu, który spadł na ich ziemie i pastwiska. Gdyby nie podjęto sprawnych działań w celu powstrzymania wypasu owiec na świeżej trawie, zwierzęta także stałyby się radioaktywne. Dopiero w 2012 roku, dwadzieścia sześć lat po czarnobylskiej eksplozji, brytyjska Agencja Norm Żywności uchyliła ograniczenia nałożone na hodowców owiec w rejonach dotkniętych promieniowaniem.

Świat to system naczyń połączonych za pomocą chmur, deszczów, a pod innym względem – także podróży lotniczych. Gdy wpatrywa-

łem się w biel za oknem, trudno mi było uwierzyć, że chmura to w gruncie rzeczy ciecz. Składające się na nią pojedyncze kropelki są oczywiście za małe, by dostrzec je gołym okiem, a ponadto przezroczyste. Więc dlaczego obłoki mają biały kolor?

Kiedy promień światła słonecznego przechodzi między wieloma tworzącymi chmurę kropelkami, prędzej czy później w którąś z nich trafi i zostanie odbity, tak jak słońce odbija się w powierzchni jeziora. Zmienia wtedy kierunek, lecz trafia w kolejną kroplę i odbija się znowu niczym kulka we flipperze. Dzieje się to wielokrotnie, aż w końcu promień opuszcza obłok. Gdy dociera do naszych oczu, jest jak igiełka światła odbitego od ostatniej kropli, którą napotkał. To samo dzieje się ze wszystkimi innymi przechodzącymi przez chmurę promieniami – nasze oczy widzą miliardy takich igiełek pochodzących z wszystkich jej części. Niektóre przemierzyły dłuższą drogę i straciły na jasności, więc część chmury będzie się wydawać ciemniejsza. Mózg próbuje jakoś uporządkować niesione przez nie informacje. Nawykowo interpretuje jasne i ciemne barwy jako lite obiekty trójwymiarowe o cechach zgodnych z tym, co odbiera oko. To dlatego chmury wyglądają jak przedmioty – czasem wydają się puszyste, jakby wykonane z wełny, czasem zwarte niczym ruchome góry. Oczywiście inna część mózgu przeczy tym rozpoznaniom i w podświadomości powstaje przekonanie, że nie są to żadne przedmioty, lecz świetlne sztuczki. Ale nawet wówczas trudno wyobrazić sobie obłoki jako skupiska kropelek.

Niebo zawdzięcza znaczną część swego piękna chmurom i zawartej w nich wodzie. Oddziałuje ona na widziane przez nas światło na najróżniejsze sposoby – to głównie za jej sprawą w różnych częściach świata panują tak cudowne warunki świetlne. Gdy jednak dochodzi

do wielkiego zagęszczenia tworzących chmurę kropelek, promieniom coraz trudniej przebyć drogę od jej szczytu do podstawy, dlatego obłok wydaje się ciemnoszary. Wszyscy, zwłaszcza w Wielkiej Brytanii, wiemy, co to oznacza – zbiera się na deszcz. Malutkie, okrągłe kropelki zaczynają rosnąć i grawitacja przyciąga je z coraz większą siłą. Kiedy mają rozmiar pyłków, siła wyporu i prądy wznoszące oddziałują na nie znacznie mocniej niż grawitacja, toteż unoszą się niczym kurz. Gdy się powiększają, siła ciążenia zaczyna jednak dominować i ściągać je ku ziemi – tak powstaje deszcz. W najlepszym wypadku, rzecz jasna. Kropelki mogą bowiem uformować chmurę burzową podobną do tych, które każdego roku zabijają setki ludzi.

Chmury burzowe powstają w ściśle określonych warunkach. Gdy kropelki napotykają zimne powietrze, opary wody z powrotem przybierają postać płynną. Jest to więc proces odwrotny do tego, który zachodzi, gdy pranie schnie na sznurze. W jego trakcie wydziela się energia w postaci tak zwanego ciepła utajonego. Cząsteczki H_2O emitują je, wciąż pozostając częścią obłoku, toteż powietrze w jego obrębie staje się coraz cieplejsze. Jak wiadomo, ciepłe powietrze wędruje w górę, a więc szczytowa część chmury się uwypukla. W ten sposób formują się puchate cumulusy. Jeśli jednocześnie znad ziemi unoszą się duże masy ciepłego, wilgotnego powietrza, jak to się zdarza w upalne dni, prądy wznoszące mogą się okazać dość silne, by porwać kropelki i odwrócić kierunek deszczu. Cząsteczki wody wędrują wiele kilometrów w górę, aż niosące je powietrze się ochłodzi. Na takiej wysokości krople zamarzają w atmosferze i zaczynają spadać. Czasem jednak, zależnie od warunków pogodowych, mogą ponownie zostać porwane w górę przez kolejne masy ciepłego powietrza. Obłok więc rośnie, staje się coraz wyższy i ciemniejszy – cumulus przekształca

się w cumulonimbus, chmurę burzową. Zaczyna się turbulentna aktywność: prądy wznoszące, które wypychają wzwyż kolejne fale cząsteczek wody, suną teraz z prędkością nawet do 100 kilometrów na godzinę, gdy w tym samym czasie drobiny lodu opadają, gwałtownie zderzając się z kroplami na odcinku kilku kilometrów.

Środowisko naukowe wciąż nie jest pewne, w jaki sposób we wnętrzu cumulonimbusa dochodzi do gromadzenia się ładunków elektrycznych. Wiemy jednak, że elektryczność – tak jak na poziomie ziemi – powstaje wskutek ruchu naładowanych cząstek, które pochodzą z atomów. Wszystkie atomy mają podobną strukturę: centralnie położone jądro z dodatnio naładowanymi protonami otaczają ujemnie naładowane elektrony. Od czasu do czasu niektóre z nich się uwalniają i zaczynają swobodnie poruszać – tak powstaje prąd elektryczny. Jeśli potrzecie balonik o wełnianą bluzę, na jego gumowej powierzchni pozostaną naładowane cząstki. Po zbliżeniu balonika do głowy wasze przeciwnie naładowane włosy uniosą się, ciągnąc ku niemu. Dzieje się tak, gdyż ładunek ujemny nieustannie dąży do połączenia się z ładunkiem dodatnim. Przy wyższych wartościach ładunku cząstki mają dość energii, by przeskoczyć przez powietrze, tworząc iskrę.

W chmurze nie zachodzą tak subtelne zjawiska jak pocieranie baloników – krople wody i okruchy lodu zderzają się tam gwałtownie, wyzwalając mnóstwo energii. Niektóre lodowe cząstki zyskują ładunek dodatni, wędrując ku górnej strefie chmury, natomiast część kropli zyskuje w trakcie opadania ładunek ujemny. Za takie rozdzielenie ładunków na odcinku wielu kilometrów odpowiada energia wiatrów wiejących we wnętrzu obłoku. Zasada przyciągania przeciwnych znaków jednak wciąż działa – cząstki ujemne chcą się połączyć z dodatnimi, co sprawia, że w chmurze zaczyna rosnąć napięcie elektryczne.

Może ono osiągnąć nawet kilkaset milionów woltów i jest tak ogromne, że pod jego wpływem elektrony odrywają się od cząsteczek powietrza. Gdy do tego dochodzi, następuje natychmiastowe uwolnienie ładunku elektrycznego przepływającego między chmurą a powierzchnią ziemi lub – zależnie od warunków – między górną a dolną warstwą chmury. Wyładowanie jest tak silne, że widać je w postaci rozpalonej do białości błyskawicy. Kiedy zaś okalające ją powietrze wskutek nagłego rozgrzania do kilkudziesięciu tysięcy stopni Celsjusza gwałtownie się rozszerza – słychać grzmot.

Energia błyskawicy jest tak wielka, że może doprowadzić do spopielenia osoby, w którą trafi. Porażenie często bywa śmiertelne. Prąd elektryczny zawsze podąża drogą najmniejszego oporu, przypominając pod tym względem ciecz, lecz o ile ciecze spływają zgodnie z kierunkiem pola grawitacyjnego, o tyle elektryczność przemieszcza się zgodnie z kierunkiem pola elektrycznego. Powietrze nie przewodzi jednak zbyt dobrze prądu, ponieważ cechuje się wysoką opornością elektryczną. Ludzkie ciała dla odmiany składają się głównie z wody z wysoką zawartością jonów, dzięki czemu są dobrymi przewodnikami. Dla rodzącej się w burzowej chmurze błyskawicy człowiek często staje się częścią wiodącej ku ziemi drogi najmniejszego oporu. Piorun chętniej uderzy w drzewo, ponieważ jest wyższe, a jego mokre gałęzie ułatwiają przewodzenie elektryczności na dłuższym odcinku, lecz jeśli ktoś szuka pod nim schronienia, błyskawica na ostatnim etapie drogi może na taką osobę przeskoczyć – i faktycznie często się to zdarza.

W wielu miejscach świata najwyższymi obiektami są budynki, a na Zachodzie najwyższym budynkiem w mieście był zwykle kościół. Wiele wczesnych kościołów miało drewniane dzwonnice, które zapalały się pod wpływem uderzenia pioruna. Na szczęście w 1749 roku

Benjamin Franklin odkrył, że zamocowanie na szczycie budynku metalowego przewodnika z drutem biegnącym ku ziemi pozwala uniknąć zniszczeń powodowanych przez gromy. Piorunochronów używa się do dziś – codziennie chronią tysiące wysokich budynków przed uszkodzeniami wskutek wyładowań. Na podobnej zasadzie wyjaśnić można, dlaczego pozostawanie w samochodzie podczas burzy jest bezpieczne: w razie trafienia pojazdu energia błyskawicy zostanie odprowadzona przez karoserię, która stanowi drogę mniejszego oporu niż ciała pasażerów.

Wróćmy teraz do samolotu i niebezpieczeństwa grożącego mu ze strony błyskawicy. Kiedy samolot przelatuje przez chmurę burzową, turbulencje powietrza miotają nim, sprawiając, że gwałtownie przechyla się, opada i wznosi zgodnie ze zmianami ciśnienia. Jeżeli w tym czasie w chmurze dojdzie do wyładowania, kadłub najprawdopodobniej stanie się częścią drogi przewodzenia błyskawicy. Jak wiemy, starsze samoloty budowano ze stopów aluminium – metal ten, tak jak karoseria samochodu, chronił pasażerów przed działaniem ładunków elektrycznych. Kompozyty z włókien węglowych, z których produkuje się większość współczesnych samolotów pasażerskich, nie przewodzą jednak prądu zbyt dobrze (użyty do ich budowy klej epoksydowy jest izolatorem). Dlatego do struktury wykorzystywanych w inżynierii lotniczej włókien węglowych wprowadza się włókna metalu, dzięki czemu po uderzeniu pioruna energia przepływa po poszyciu kadłuba, nie czyniąc szkody pasażerom. Pioruny uderzają w samoloty dość często – notuje się średnio jeden taki przypadek rocznie – lecz od pięćdziesięciu lat nie zdarzyła się z tego powodu żadna katastrofa. Innymi słowy – podczas burzy bardziej niebezpiecznie jest przebywać pod drzewem niż w samolocie. Nie ma o tym wzmianki podczas in-

struktażu bezpieczeństwa, choć to ważna informacja. Lecz, jak już wspominałem, w takich instruktażach w gruncie rzeczy nie chodzi o bezpieczeństwo.

Mój samolot znacznie obniżył lot i zbliżał się do ziemi. Weszliśmy na ścieżkę podejścia do Międzynarodowego Portu Lotniczego San Francisco, niskie chmury zasłaniały nam widok. Nad Zatoką San Francisco często występują mgły. Mgła to zawieszone w powietrzu drobinki wody – taka chmura, tyle że nisko nad ziemią. Jeśli oglądacie ją przez okno, popijając koniak w przytulnym, ogrzanym kominkiem domu, sprawia zupełnie niegroźne wrażenie – spowija miasto romantyczną, tajemniczą aurą, w której wszystko wydaje się możliwe. Tymczasem dla kogoś, kto akurat przechodzi przez molo, jedzie autostradą, pędzi na nartach lub siedzi w samolocie opadającym z prędkością 10 metrów na sekundę, mgła to śmiertelne ryzyko. Historie o statkach, które roztrzaskały się na skałach wśród wodnych oparów, wciąż budzą trwogę ludzi morza. Z powodu mgły zamykane są też lotniska niewyposażone w nowoczesny system naprowadzania, a załogi samolotów odwołują lądowania. Mgła jest straszna, mgła jest groźna – to pewnie dlatego wszelkie święta odwołujące się do kultu zmarłych, takie jak Halloween, obchodzi się jesienią, kiedy powietrze często bywa zamglone.

Mgła powstaje na poziomie gruntu dzięki temu samemu mechanizmowi, który odpowiada za formowanie się chmur. Wilgotne powietrze ulega schłodzeniu i w rezultacie zawarta w nim H_2O przybiera postać malutkich kropelek. By mogły się wytworzyć, potrzebne są – podobnie jak na dużej wysokości – zarodki kondensacji. Dawniej w miastach funkcję tę pełniły najczęściej cząstki dymu pochodzącego z ognia, którego używano do gotowania i ogrzewania, obecnie zaś prze-

jęły ją wyziewy z fabryk i spaliny samochodowe. Gdy tego rodzaju zanieczyszczenia nieustannie trafiają do atmosfery, powstaje gęsta mgła zwana smogiem, która może spowijać miasto przez wiele dni z rzędu, nie dopuszczając do rozproszenia się wyziewów. W Londynie historia odnotowanych wystąpień smogu sięga roku 1306. Król Edward I, by zaradzić problemowi, zakazał wtedy na pewien czas spalania węgla. Bywało tak źle, że londyńczycy nie mogli dostrzec własnej dłoni na odległość wyprostowanego ramienia. Mimo wysiłków króla zjawisko to nadal nękało stolicę, aż w 1952 roku nastał „wielki smog londyński", który w ciągu czterech dni doprowadził do śmierci czterech tysięcy osób. Pod wpływem tych wydarzeń rząd wprowadził pierwsze ustawy na rzecz ochrony powietrza.

Gęsty smog często pojawia się także w San Francisco. Dzieje się tak, ponieważ ciepłe, wilgotne powietrze znad Pacyfiku napływa nad miasto, po czym schładza się i skrapla do postaci mgły z powodu dużej ilości spalin w atmosferze. Nasz samolot właśnie zanurzał się w taką mgłę i choć wiedziałem, że zarówno załoga, jak i lotnisko są dobrze przygotowane na te warunki pogodowe i wiedzą, jak bezpiecznie wylądować, ogarniało mnie narastające zdenerwowanie. Za oknem nie widziałem nic poza groźną białą watą.

„Ping" – zadźwięczał interkom.

– Prosimy personel pokładowy o przygotowanie się do lądowania.

Nadszedł moment krytyczny z punktu widzenia bezpieczeństwa lotu – zaraz mieliśmy przyziemić. W kabinie zapadła cisza, słychać było tylko buczenie silników i szum klimatyzacji. Wszyscy wydawali się podobnie podenerwowani. Od czasu do czasu dostrzegałem we mgle prześwity, w których objawiał mi się jakiś obiekt na ziemi – drzewo czy samochód – lecz biel natychmiast znów wszystko zasnuwała, a

samolot gwałtownie opadał lub trząsł się w akompaniamencie jazgotu silników huczących echem w moim przerażonym umyśle.

Opadaliśmy niżej i niżej, a ja robiłem się coraz bardziej spięty. Wiem, że latanie jest najbezpieczniejszą formą długodystansowych podróży, lecz i tak zawsze się obawiam, że mój lot będzie należał do tych wyjątkowych. Na zewnątrz unosiła się zabójcza mgła. Wszyscy siedzieliśmy zapięci pasami, nawet członkowie personelu pokładowego, którzy spoglądali na nas z niezmąconym spokojem. Brali udział w lądowaniach kilka razy w tygodniu. Zastanawiałem się, jak sobie radzą ze świadomością, że w tej ostatniej fazie lotu ich życie zależy wyłącznie od tego, czy piloci będą umieli poradzić sobie w nieprzewidzianych okolicznościach. Tylko doskonale opanowana Susan wydawała się nie tracić zimnej krwi – odłożyła książkę i pogodnym wzrokiem wpatrywała się w okno, ewidentnie pewna, że z czekającego nas zderzenia z ziemią wyjdziemy bez szwanku.

Lita

Usłyszałem łupnięcie i cały kadłub zadygotał, hałasując niczym tysiąc zatrzaskiwanych szafek. Gdy kapitan wyłączył silniki i zaczęliśmy zwalniać, nasze ciała naparły na pasy bezpieczeństwa. Prędkość lądowania wynosiła 210 kilometrów na godzinę. Wyhamowaliśmy najpierw do 100, później do 60, aż w końcu przy 20 zjechaliśmy z pasa. W kabinie dało się wręcz usłyszeć westchnienie ulgi. Kilka osób zaczęło klaskać. Wróciliśmy na stały ląd.

Słowo „stały” może być jednak nieco mylące, ponieważ Ziemia, w porównaniu do innych planet, nie jest szczególnie lita. Zaczęła żywot jako kula gorącej cieczy i przez 100 milionów lat ochłodziła się na tyle, że na jej zewnętrznej powierzchni powstała skalista skorupa. Zdarzyło się to około 4,5 miliarda lat temu i choć od tej pory nasza planeta wciąż traci ciepło, wewnątrz pozostaje płynna. Dzięki dynamicznemu przepływowi cieczy zachodzącemu głęboko pod powierzchnią Ziemia ma ochronne pole magnetyczne. Lecz ta sama ciecz może także okazywać niszczycielskie oblicze – powodować trzęsienia ziemi, erupcje wulkanów i ruchy płyt tektonicznych.

W samym środku Ziemi znajduje się solidny obiekt – metalowe jądro wewnętrzne z żelaza i niklu o temperaturze około 5000°C. Choć to wielokrotnie więcej niż temperatura topnienia tych metali, jądro przejawia właściwości ciała stałego, ponieważ wskutek ogromnego ciśnienia grawitacji ciecz formuje się w wielkie metaliczne kryształy. Jądro wewnętrzne otacza warstwa stopionego metalu – również złożona głównie z żelaza i niklu – o grubości ponad 2000 kilometrów.

Prądy płynące w tym podziemnym oceanie metalu wytwarzają ziemskie pole magnetyczne, które jest tak silne, że rozciąga się daleko w kosmos i nie tylko umożliwia działanie kompasów oraz nawigację, lecz także pełni funkcję tarczy chroniącej nas przed wiatrem słonecznym i promieniami kosmicznymi. Gdyby nie ono, ziemska atmosfera i woda zostałyby zmiecione w przestrzeń kosmiczną, a życie najprawdopodobniej nie miałoby szans przetrwać. Badacze planet uważają, że Mars jakiś czas temu stracił własne pole magnetyczne i to dlatego pozostaje zimnym, martwym głazem, niemal pozbawionym atmosfery.

Ocean płynnego metalu jest otoczony skalistą warstwą – tak zwanym płaszczem, o temperaturze od 500 do 900°C. W tych warunkach w ciągu sekund, godzin czy dni skały zachowują się jak ciało stałe, lecz w ciągu miesięcy czy lat – już jak ciecz. Można więc powiedzieć, że płyną, choć nie są roztopione – to tak zwany przepływ pełzający. Większością przepływów w skalistym płaszczu rządzą zasady konwekcji: gorąca skała w pobliżu płynnego oceanu metalu wznosi się, a chłodniejsza, bliska skorupie, tonie. Takie same procesy można zaobserwować w stojącym na gazie czajniku: gorąca woda z dna rozszerza się i staje mniej gęsta niż chłodniejsza woda z górnej warstwy, która opada, zastępując tę ciepłą.

Płaszcz otacza skorupa, czyli coś w rodzaju skóry Ziemi. To stosunkowo cienka warstwa chłodnej skały o grubości od 30 do 100 kilometrów, którą pokrywają góry, lasy, rzeki, oceany, kontynenty i wyspy. Gdy interkom odezwał się znowu, pilot poinformował nas, że właśnie na niej wylądowaliśmy.

– Szanowni państwo, witamy w porcie lotniczym San Francisco. Jest 15.42, temperatura na zewnątrz wynosi 3°C. Dla własnego bez-

pieczeństwa i wygody proszę nie wstawać i nie rozpinać pasów do czasu, aż kapitan wyłączy kontrolkę „zapiąć pasy".

W takich chwilach z powodu ulgi odczuwanej przy powrocie na ziemię można łatwo uznać, że skorupa, na której żyjemy, jest stabilna, solidna i godna zaufania. Niestety tak nie jest – w rzeczywistości unosi się ona na niestabilnym płaszczu, a co gorsza, jest złożona z odrębnych kawałków zwanych płytami tektonicznymi. Siły konwekcyjne działające w obrębie płaszcza powodują ich przemieszczanie się i zderzanie, wskutek czego płyty się uginają. Istnieje siedem największych płyt tektonicznych, które mniej więcej pokrywają się z granicami kontynentów. Na przykład na płycie północnoamerykańskiej leży Ameryka Północna, Grenlandia oraz cały obszar dna oceanicznego sięgający aż do płyty eurazjatyckiej, która mieści większą część Europy. Wszystkie płyty się poruszają, lecz nie w tym samym kierunku, a miejsca ich styku, zwane uskokami, to zarazem strefy kolizyjne. Gdy płyty tektoniczne napierają na siebie, wypiętrzają się w pasma górskie; kiedy się rozsuwają, z warstwy płaszcza wycieka lawa i powstaje nowy fragment skorupy. W rejonach uskoków dochodzi do najsilniejszych trzęsień ziemi.

Jestem pewny, że moi współpasażerowie byli świadomi niebezpieczeństwa – w końcu wielu z nich mieszkało w San Francisco. Miasto to leży na linii uskoku, gdzie spotykają się dwie płyty tektoniczne – północnoamerykańska i pacyficzna – i z tego powodu lista potężnych trzęsień ziemi, do których doszło w tym rejonie, jest długa, a w przyszłości bez wątpienia jeszcze się wydłuży. W 1906 roku trzęsienie ziemi obróciło w gruzy 80 procent miasta i zabiło ponad 3000 osób. Następne zdarzyły się w 1911, 1979, 1980, 1984, 1989, 2001 i 2007 roku. Mowa tu tylko o największych trzęsieniach. Pomiędzy wymienionymi

datami ziemia wielokrotnie trzęsła się z nieco mniejszą siłą. Zamieszkiwanie w mieście takim jak San Francisco uświadamia nam, jak ważne jest rozeznanie w dynamice płynów naszej planety. Dzięki temu nie tylko wiemy, dlaczego w pewnych miejscach na Ziemi raz za razem dochodzi do trzęsień, lecz także potrafimy zrozumieć czynniki wpływające na pewien bardzo ważny związany z nimi element, jakim jest wysokość poziomu morza.

Ponieważ skorupa ziemska spoczywa na płynnych skałach, może w nich zatonąć, jeśli przydusi ją, powiedzmy, ogromna warstwa lodu. To się właśnie zdarzyło na Antarktydzie i Grenlandii, gdzie spoczywa gęsta pokrywa lodowa o grubości 2–3 kilometrów. By lepiej pojąć, o jak wielkiej masie mowa, warto sobie uświadomić, że w antarktycznych lodowcach uwięzione jest 60 procent słodkiej wody występującej na powierzchni naszej planety – to około 26 milionów bilionów litrów, czyli w przybliżeniu 26 tysięcy bilionów ton. Gdyby wskutek globalnego ocieplenia cały ten lód stopniał, poziom morza wzrósłby o ponad 50 metrów. Każde nadbrzeżne miasto świata znalazłoby się pod wodą, co pozbawiłoby dachu nad głową setki milionów ludzi. To dość oczywiste. Mniej ewidentny jest natomiast fakt, że zdjęcie tak wielkiej masy z powierzchni Antarktydy odciąży znajdujące się pod nią skały, wskutek czego połacie lądu rozprężą się i uwypuklą (to tak zwane postglacjalne ruchy izostatyczne). Podobnie sytuacja wygląda w Grenlandii: skorupę ziemską przyciskają tam 3 miliony bilionów litrów zamrożonej w lądolodzie wody, która w razie stopnienia doprowadzi do uniesienia się północnoamerykańskiej płyty tektonicznej. Jeżeli wzrost wysokości kontynentu okaże się większy niż wzrost poziomu morza, być może nie dojdzie do wielkich powodzi. Określenie prawdopodobieństwa rozwoju wypadków jest więc niezwykle istotne

dla naszej przyszłości, a zwłaszcza dla przyszłości następnych pokoleń, ponieważ jeśli globalne ocieplenie będzie narastać, jak to ma miejsce do tej pory, możemy być pewni, że spełni się jeden z tych dwóch scenariuszy.

Na razie wiemy tyle, że od początku XX wieku średni poziom morza na świecie wzrósł o 20 centymetrów. W pewnym stopniu stało się tak wskutek ogrzewania się oceanów i termicznego rozszerzania się wody – wraz ze wzrostem temperatury rośnie jej objętość. Inną przyczyną wzrostu poziomu mórz jest topnienie lodowców – głównie na Grenlandii i Antarktydzie, lecz nie tylko. Przybór oceanów jest zjawiskiem globalnym, które ma wpływ na każdego mieszkańca wybrzeża, od malutkiej wyspy na Pacyfiku zagrożonej całkowitym zatonięciem po ogromne państwa, takie jak Bangladesz, gdzie przyrost poziomu morza o metr doprowadzi do zalania 20 procent powierzchni kraju i przesiedlenia 30 milionów ludzi. Wpływ postglacjalnych ruchów izostatycznych będzie miał natomiast znaczenie tylko dla rejonów sąsiadujących z Grenlandią i Antarktydą, przyciśniętych obecnie przez lądolody. Innymi słowy, po stopnieniu lodowców na Ziemi wyłonią się zwycięzcy i przegrani. O tym, kto trafi do której grupy, zadecyduje to, czy najpierw roztopi się grenlandzki lód na półkuli północnej, czy antarktyczny na południowej.

W tym pierwszym przypadku Grenlandia oraz kontynent północnoamerykański uniosą się powyżej średniego globalnego poziomu morza, który w związku z tym początkowo wręcz się obniży. Dodatkowa ilość wody zasili wszystkie oceany, natomiast wzrost wysokości północnych płyt tektonicznych będzie miał zasięg lokalny. Jeśli jednak najpierw stopnieje lód antarktyczny, wówczas jako pierwsze uniosą się południowe płyty tektoniczne, a całe wschodnie wybrzeże

Ameryki Północnej znajdzie się pod wodą.

Do wielkich niewiadomych należy odpowiedź na pytanie, jak szybko będziemy tracić lodowce. Nie muszą one bowiem topnieć, by znikać z powierzchni kontynentów. Mogą się także przemieszczać. Jęzory lodowcowe spływają z gór, mimo że tworzy je lity lód. Takie ruchy pełzające przypominają przepływ lepkich cieczy. Kiedy na cząsteczkę cieczy oddziałuje grawitacja, część trzymających ją słabych wiązań pęka, co pozwala jej przemieszczać się w kierunku oddziaływania siły. Cząsteczka musi jednak mieć też przestrzeń, którą może zająć, w przeciwnym razie wywiera nacisk na sąsiednie molekuły, zmuszając je do ruchu. Strukturę cieczy cechuje duża przypadkowość, toteż większość cząsteczek znajduje miejsce na kontynuowanie przepływu, mieszając się swobodnie wskutek oddziałujących na nie sił, co sprawia, że płyn się przemieszcza. Podobnie sytuacja wygląda w świecie ciał stałych, lecz w ich przypadku cząsteczki i atomy nie zrywają wiązań z sąsiadami zbyt łatwo, gdyż dysponują relatywnie mniejszą energią, więc cały proces odbywa się znacznie wolniej. Ciała stałe mają ponadto wysoce uporządkowaną strukturę, więc atomom nie jest łatwo znaleźć przestrzeń do ruchu. To dlatego przemieszczają się bardzo powoli, ruchem określanym mianem pełzającego. Można go przyspieszyć przez zwiększenie ciśnienia lub temperatury – im jest wyższa, tym więcej energii oscylacyjnej uzyskają atomy, dzięki czemu łatwiej rozerwą trzymające je wiązania, by zająć wolne miejsce gdzieś indziej. To właśnie dzieje się z pokrywą lodową wraz z globalnym wzrostem temperatury: całe lodowe góry płyną ku morzu, ściągane tam siłami grawitacji.

Lód w formie lodowców pełznie stosunkowo szybko. Zmierzono na przykład, że w 2012 roku grenlandzkie lodowce przemieszczały się ku

morzu w tempie 16 kilometrów na rok. Poruszały się tak szybko, ponieważ pokrywa lodowa osiągnęła temperaturę od –10 do –50°C. Choć wydaje się, że to bardzo mroźne warunki, należy pamiętać, że wartości te są niższe o zaledwie 10 do 50 stopni od temperatury topnienia lodu. Energia molekuł H2O w kryształach lodu nie jest więc dużo niższa od tej, której potrzebują, by przeobrazić się w ciecz. Dla odmiany skały, z których zbudowane są góry, topnieją w temperaturze między 1000 a 2000°C. Ich atomy dzielą więc od temperatury topnienia setki, jeśli nie tysiące stopni, toteż skała pod względem zachowania znacznie bardziej niż lód przypomina ciało stałe. Z tego powodu góry pełzną dużo wolniej niż lodowce, lecz także to robią, choć w ich przypadku, nim przebędą dającą się zauważyć odległość, mogą minąć miliony lat. W niższej partii skorupy ziemskiej temperatury są bliższe temperaturze topnienia skał. To dlatego płyty tektoniczne pełzną szybciej niż góry – od około 1 do 10 centymetrów rocznie.

Może się wydawać, że to niewiele, wyobraźcie sobie jednak, że na tak poruszającą się płytę naciera druga i obie wywierają na siebie nawzajem ogromny nacisk na linii uskoku o długości kilkuset kilometrów. Któraś z nich musi ustąpić. W przeciwnym wypadku napięcie będzie wzrastać rok po roku, aż ląd pęknie i się przemieści, w niemal jednej chwili wyzwalając potężną ilość energii – tak dochodzi do trzęsienia ziemi. W 1906 roku w San Francisco trzęsienie wyzwoliło energię porównywalną z wybuchem tysiąca bomb atomowych. To, które wywołało tsunami w Japonii w 2012 roku, uznano za ekwiwalent 25 tysięcy takich bomb. Dlatego zniszczenia powodowane przez tego typu katastrofy mają tak wielki zasięg – miasto, które jest odległe o setki kilometrów od epicentrum silnego trzęsienia ziemi, może zostać przez nie doszczętnie zniszczone.

Stopniowe gromadzenie się energii nie zawsze jednak prowadzi do trzęsienia ziemi. Czasem jedna z nacierających płyt pod wpływem ciśnienia wsuwa się pod drugą, która z wolna się unosi. Potrzeba do tego ogromnej siły, lecz w świecie płyt tektonicznych wszystkie procesy zachodzą na gigantyczną skalę. Takie niepowstrzymane fałdowanie się ziemi prowadzi do wypiętrzania się gór. Wszystkie wielkie łańcuchy górskie naszej planety – Alpy, Góry Skaliste, Himalaje i Andy – leżą w miejscu styku płyt tektonicznych i uformowały się wskutek ich trwającego miliony lat pełznięcia.

Ale nie wszystkie góry powstają w taki sposób. Bodaj najbardziej spektakularnym, a na pewno najszybszym procesem górotwórczym jest wybuch wulkanu. Kto nigdy nie widział strumieni roztopionej, rozgrzanej do czerwoności skały, która wytryskuje z ziemskich trzewi, powinien postarać się ujrzeć taki spektakl choćby raz w życiu – to jeden z najbardziej niesamowitych i uczących pokory widoków w naturze. Przypomina podróż w czasie do narodzin planety, kiedy wszędzie wokół widać było tylko spaloną skałę i czarny żużel, a w powietrzu unosił się smród siarki, dym i popiół.

Oglądałem czynny wulkan tylko raz i omal przy tym nie zginąłem. Latem 1992 roku przebywałem w Gwatemali, gdzie uczyłem się hiszpańskiego. Zamieszkiwałem u pewnej rodziny w starym mieście Antigua położonym w porośniętych dżunglą górach na obszarze pacyficznego pierścienia ognia, czyli powstałego wskutek aktywności tektonicznej łańcucha wulkanów u wybrzeża Pacyfiku. Szacuje się, że przez minione 300 tysięcy lat za sprawą erupcji w tym rejonie wypiętrzyło się 70 kilometrów sześciennych gór. Jednym z najaktywniejszych wulkanów w okolicy Antigui był Pacaya, którego ostatnia erupcja nastąpiła w 2010 roku.

Wycieczki do wulkanów organizowano nieoficjalnie na miejskim rynku. Goszcząca mnie gwatemalska rodzina odwodziła mnie od tego pomysłu, bo w 1992 roku w kraju wciąż pełno było bandytów i rzezimieszków, którzy regularnie napadali i okradali turystów na tyle młodych i głupich, by wałęsać się po okolicy bez broni. Ponieważ jednak sam wówczas zaliczałem się do tej grupy, pewnego popołudnia, nie zważając na ostrzeżenia, wsiadłem do ciężarówki pełnej równie młodych i głupich backpackerów, po czym dwóch Gwatemalczyków zawiozło nas do dżungli. Dotarliśmy do podnóża Pacayi o zachodzie słońca, spodziewając się wspinaczki wśród drzew, tyle że żadnych drzew nie było. Las na zboczach spłonął i uległ zniszczeniu, a góra co pewien czas wyrzygiwała w powietrze dym, popiół i tony stopionej skały. Mieliśmy przed sobą stromy, pokryty pyłem stok, z którego co jakieś 10 metrów wystawały poczerniałe kikuty. Wędrowaliśmy wśród czarnych kopców sypkiego żwiru, owiewani cuchnącymi wyziewami. Wyglądało to jak scena z Apokalipsy. Wyżej ścieżka zrobiła się jeszcze bardziej spadzista i coraz trudniej szło się przez sypki, spalony żużel. Byliśmy jednak wytrwali i żądni przygód, toteż w końcu wraz z nadejściem zmroku stanęliśmy na szczycie.

Wkrótce zapadła smoliście czarna noc. Przewodnicy wskazali, byśmy stanęli za dużym głazem na skraju krateru, a sami zbliżyli się do jego krawędzi, by ocenić nastrój Pacayi. Wkrótce wrócili podekscytowani, mówiąc, że wulkan jest rozbudzony i pełen bulgoczącej lawy. Sami więc także ostrożnie podeszliśmy. Z krateru, który znajdował się jakieś 100, może 200 metrów niżej, buchał odór siarki. Wtedy ujrzeliśmy lawę. To jedna z chwil, których nigdy nie zapomnę. Po raz pierwszy w życiu oglądałem trzewia naszej planety. Staliśmy zahipnotyzowani, jakbyśmy oglądali jakieś dzikie zwierzę w jego siedlisku.

Raptem usłyszeliśmy pyknięcia. Przewodnicy się zmartwili i zaczęli coś ustalać na osobności. Tymczasem dobiegło nas więcej pyknięć, a także głuche huki. Wyglądało na to, że Pacaya naprawdę żyje i wystrzeliwuje w powietrze lawę – huki były dźwiękami towarzyszącymi jej lądowaniu na zboczach. Każdy taki kawał ważył, jak się później przekonałem, kilogram lub dwa. Nie mieliśmy kasków, odzieży ognioochronnej ani specjalnych butów (ja sam poszedłem w adidasach). Przewodnicy zawołali do nas, że w tej sytuacji najlepiej po prostu uciekać. Nie trzeba nam było dwa razy powtarzać. Biegłem, przerażony, że kolejny kawał stopionej skały trafi mnie w głowę. Ślizgałem się i padałem, brnąc jak najszybciej w dół zbocza żużlu, a zza naszych pleców dobiegały dźwięki: „pop, pop, pop". W ciężarówce w drodze do Antigui nasi przewodnicy śmiali się z ulgą. Najwyraźniej ledwie uniknęliśmy tragedii. W końcu pojąłem, czemu nie przejmowali się bandytami. To bynajmniej nie oni stanowili najpoważniejsze niebezpieczeństwo.

Z szerszego, tektonicznego punktu widzenia erupcje Pacayi są jednak dość małe. Największym wulkanem na Ziemi jest Mauna Loa. Leży na wyspie Big Island w archipelagu Hawajów, którą wypiętrzył wypływami własnej magmy. Większość aktywności wulkanicznej na świecie zachodzi pod wodą. Hawajskie wyspy powstały właśnie w wyniku takiego zjawiska i są dość niebezpiecznym miejscem do zamieszkiwania, ponieważ tamtejsze wulkany wciąż są czynne. Podczas większej erupcji lawa może wystrzelić na kilkaset metrów w górę, tworząc chmurę duszącego, gorącego popiołu, zdolnego spowodować wielką katastrofę. W 79 roku wybuchł Wezuwiusz, zasypując takim popiołem Pompeje i Stabie – wielu mieszkańców tych miast poniosło niemal natychmiastową śmierć.

W 1883 roku wulkan na indonezyjskiej wyspie Krakatau eksplodował z hukiem tak wielkim, że słyszano go w odległości kilku tysięcy kilometrów. Szacuje się, że wybuch ten miał moc 13 tysięcy bomb atomowych i zabił ponad 30 tysięcy ludzi. W wyniku erupcji zniknęła większa część wyspy.

Potężne wybuchy nie należą bynajmniej do przeszłości – będą się niestety zdarzać także w przyszłości. Niedawno odkryto na przykład wielkie ilości lawy gromadzącej się wokół podmorskiego wulkanu u południowych wybrzeży Japonii. Powolne wyciekanie płynnych skał doprowadziło do powstania kopulastego wzniesienia, wysokiego na 600 metrów nad poziomem morza. Poprzednia erupcja w tym rejonie, która miała miejsce siedem tysięcy lat temu, zdewastowała japońskie wyspy. Istnieje ryzyko, że wkrótce dojdzie do kolejnej, która okaże się podobnie niszczycielska. W rezultacie do atmosfery trafi ogromna ilość popiołu, który pozostanie w niej na wiele lat, blokując dostęp światła słonecznego. Doprowadzi to do obniżenia temperatury na całym świecie i nastania tak zwanej globalnej zimy.

Gipsowy odlew jednej z ofiar wybuchu Wezuwiusza

Warto zauważyć pewną osobliwość. Wulkany wybuchają od miliardów lat i równie długo poruszają się płyty tektoniczne, ziemskie góry nie są jednak szczególnie wysokie. Gdy spojrzeć na Ziemię z kosmosu, wygląda to tak, jakbyśmy żyli na kuli bilardowej pozbawionej większych wypukłości. Góry, choć miały tyle lat, by urosnąć, pozostają drobnymi zmarszczkami na jej gładkiej powierzchni. Dlaczego tak się dzieje? Za nieustanne karlenie gór odpowiadają dwa procesy. Pierwszym jest erozja: deszcz, lód i wiatr niczym tarka nieustannie ścierają z powierzchni gór drobne cząstki. Ponadto gdy masyw górski staje się dość ciężki, naciska na położone niżej skały i za sprawą sił

pełzania oraz przepływu wciska się z wolna w skorupę planety. Niczym lądolód obciążający płyty tektoniczne Antarktydy, góry napierają na płyty tektoniczne, które je zrodziły, i zapadają się tym głębiej, im wyższe się stają.

Oczywiście personel pokładowy podczas lądowania nie wspomniał ani słowem o tych procesach. Przemilczenie tematu jest chyba najlepszą metodą radzenia sobie ze świadomością, że żyjemy na nieprzewidywalnej, pozostającej w ciągłym ruchu planecie. Bo choć możemy rozumieć przyczyny trzęsień ziemi, nikt nie potrafi przewidzieć, kiedy kolejne z nich nawiedzi San Francisco. „Może dzisiaj?" – pomyślałem, spoglądając na Susan. Nie wydawała się przejęta. „Pewnie wypiera to ze świadomości, tak jak my wszyscy" – uznałem. Jak inaczej można by zaznać szczęścia na tej cienkiej skorupce powlekającej płynną planetę, która generuje siły tak ogromne, że w ciągu kilku milionów lat potrafią wypiętrzać góry lub w parę minut niszczyć miasta, tworzyć jedne wyspy, a pochłaniać inne, lub też obniżać wysokość kontynentów pod naporem mas lodu, którego topnienie zagraża dziś wszystkim nadbrzeżnym miastom, łącznie z San Francisco. Siły te nigdy nie ustaną, ponieważ ich źródłem jest płynna, zmienna natura naszej planety. Byśmy mogli przetrwać jako cywilizacja i jako gatunek, musimy nauczyć się z nimi żyć.

Susan właśnie się tego uczyła – korzystając z kamery w telefonie, malowała usta czerwoną szminką. Podobał mi się jej styl. Wciąż nie miałem pojęcia, kim jest, czym się interesuje ani dokąd zmierza. Wiedziałem tylko jedno: rzeczywiście miała na imię Susan, ponieważ wpisała je do formularzy celnych moim długopisem. Długopisem, który miała z sobą, kiedy zręcznie przecisnęła się do przejścia między rzędami foteli, jednym płynnym ruchem wyjęła bagaż ze schowka

nad głową i skierowała się do wyjścia. Tymczasem z interkomu dobiegła nas ostatnia, optymistyczna wiadomość.

– W imieniu linii lotniczych i całego personelu pokładowego pragnę podziękować za wspólną podróż. Mam nadzieję, że wkrótce znów ugościmy państwa na pokładzie. Miłego dnia!

Odnawialna

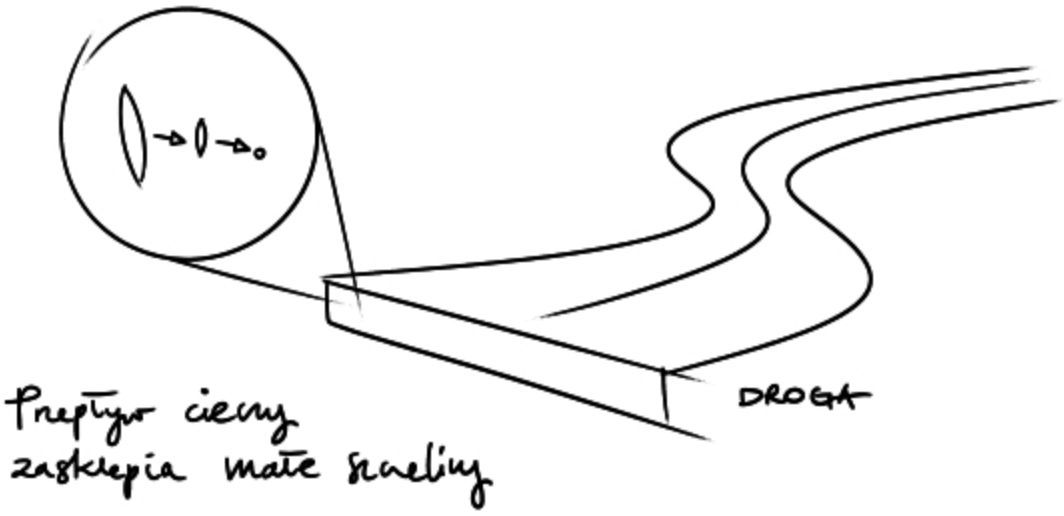
Żyjąc na płynnej planecie, możemy być pewni tylko jednego: zmian. Podnosi się poziom mórz, kontynenty pełzną po ziemskim płaszczu, wskutek erupcji wulkanów powstają i znikają lądy, a huragany, tajfuny i tsunami nacierają na wybrzeża, rujnując miasta. W obliczu tak niepewnej przyszłości jedynym rozsądnym rozwiązaniem jest budować domy, drogi, wodociągi, elektrownie, lotniska – wszystko, co jest nam potrzebne do godnej, cywilizowanej egzystencji – w taki sposób, by były zdolne przetrwać katastrofę. Ich struktury muszą być na tyle mocne, by oprzeć się trzęsieniom ziemi czy powodziom, lecz byłoby jeszcze lepiej, gdyby potrafiły same się reperować. Dzięki temu nasze miasta zyskałyby elastyczność i odporność na zmiany klimatu. Może się to wydawać fantazją, lecz przecież od milionów lat tak właśnie funkcjonują wszystkie żywe organizmy. Weźmy za przykład drzewo: w razie uszkodzenia przez burzę potrafi się naprawić, wypuszczając nowe gałęzie. Także nasza skóra, jeśli zatniemy się nożem, zasklepia się bez naszej ingerencji. Czy miasta nie mogłyby się samodzielnie uzdrawiać na podobnej zasadzie?

Eksperyment kropli smoły prowadzony na University of Queensland. (Zdjęcie wykonane w 1990 roku, dwa lata po upadku siódmej kropli, a dziesięć lat przed ósmą)

W 1927 roku profesor Thomas Parnell z University of Queensland przeprowadził eksperyment, by sprawdzić, co się stanie z kawałkiem smoły umieszczonym w lejku. Po wielodniowej obserwacji stwierdził, że obiekt zachowuje się jak ciało stałe i pozostaje dokładnie tam, gdzie go położono. Lecz z biegiem miesięcy i lat zaczął bardzo wolno

spływać przez lejek, zachowując się jak ciecz. Jej pierwsza kropla spadła w 1938 roku, kolejna w 1947, trzecia w 1954 i tak dalej, aż do dziewiątej w 2014 roku. To zachowanie bardzo zaskakujące jak na materiał, który wydaje się zupełnie twardy, gdy jedziemy po nim samochodem. Co tu się dzieje?

Okazało się, że smoła jest materiałem znacznie ciekawszym, niż to się śniło inżynierom materiałoznawstwa. Sprawia wrażenie nudnej, czarnej brei, którą wydobywa się z ziemi lub pozyskuje jako produkt uboczny rafinacji nafty. W rzeczywistości jest to dynamiczna mieszanka węglowodorów, która powstawała przez miliony lat z rozłożonej maszynerii komórkowej żywych organizmów. W wyniku ich rozkładu powstają złożone cząsteczki, które – choć nie należą już do żywego systemu – samorzutnie organizują się w wewnętrznie powiązane struktury. W typowej temperaturze mniejsze molekuły smoły mają dość energii, by przemieszczać się przez jej wewnętrzną architekturę, co nadaje materiałowi cechy płynu. Smoła jest więc cieczą, choć ekstremalnie lepką – dwa miliardy razy bardziej niż masło orzechowe – i to dlatego tak długo ściekała przez lejek Parnella.



Przepływ asfaltu na drodze prowadzi do zasklepiania pęknięć

Swój specyficzny ostry zapach smoła zawdzięcza cząsteczkom siarki, pierwiastka kojarzonego zwykle z cuchnącymi substancjami organicznymi. Kiedy przechodzimy czy przejeżdżamy obok robotników wylewających świeży asfalt, nie tylko widzimy, ale i czujemy, że rozgrzewają smołę. W ten sposób molekuły zyskują więcej energii na poruszanie się, a więc przepływ, jednocześnie jednak łatwiej się ulatniają. Dlatego materiał zaczyna wydzielać mocniejszy zapach, podobnie jak napoje, które po podgrzaniu roztaczają wyraźniejszy aromat.

Tworzenie dróg z jakiejś cuchnącej cieczy może się wydawać głupie, ale inżynierowie dodają do niej kamyków, aby powstała w ten sposób substancja złożona – po części ciecz, po części ciało stałe – podobna pod względem struktury do masła orzechowego, które skła-

da się z wielu skruszonych kawałków orzechów zawieszonych w oleju. Mocne i twarde kamyki potrafią wytrzymać nacisk jadących asfaltową ulicą pojazdów i chronią powierzchnię drogi przed wpływem czynników środowiskowych. Jeśli jednak podda się ją działaniu zbyt wielkiej siły, w miejscach styku kamieni ze spajającą je smołą mogą się pojawić pęknięcia. I tu na ratunek przychodzi płynna natura smoły: materiał płynie i zalepia szczeliny, samoczynnie naprawiając drogę, która dzięki temu może służyć znacznie dłużej, niż gdyby była zbudowana z litej substancji.

Jako użytkownicy dróg na pewno zauważyliście, że ich zdolności do samonaprawy mają swoje granice. Drogi po jakimś czasie w końcu się starzeją i zaczynają rozpadać na dobre. Częściową winę za to ponosi temperatura. Jeśli bowiem spada ona poniżej, powiedzmy, 20°C, smoła staje się tak lepka, że traci zdolność przepływu i łatania pojawiających się pęknięć. Ponadto z biegiem czasu tlen wchodzi w reakcję z cząsteczkami smoły przy powierzchni, co również zwiększa jej lepkość, w coraz większym stopniu hamując proces zalepiania szczelin. Droga stopniowo zmienia barwę i traci płynność, tak jak skóra człowieka, która z wiekiem staje się coraz mniej elastyczna, a bardziej sucha. Wówczas pojawiają się małe dziury, które – jeśli nikt ich nie załata – powiększają się i całkowicie niszczą asfaltową powierzchnię.

Inżynierowie dobrze o tym wiedzą, o czym się przekonałem podczas podróży autobusem wahadłowym z lotniska do hotelu. Gdy tylko wjechaliśmy do miasta, utknęliśmy w korku spowodowanym przez remont nawierzchni. Autobus pełzł jak ślimak po jedynym czynnym pasie ruchu spośród trzech i przez pół godziny przejechaliśmy może półtora kilometra. Według mojego zegara biologicznego było około

drugiej w nocy. Czułem się zmęczony i gwałtownie potrzebowałem się wysikać.

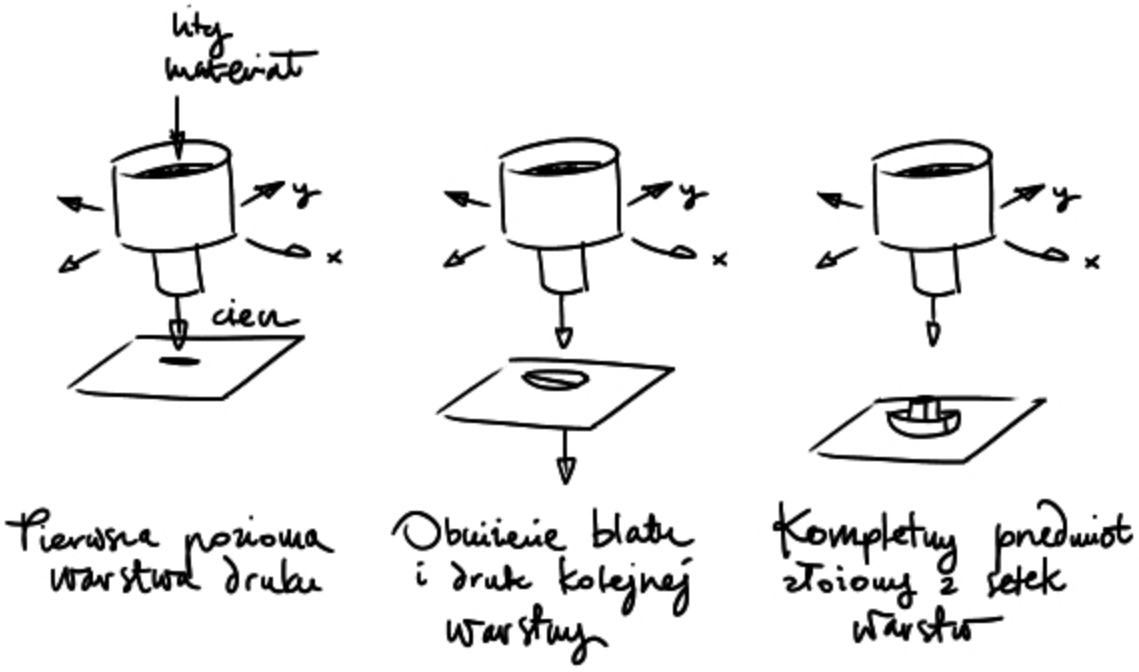
Lecz przecież nie musi tak to wyglądać, a przynajmniej my, materiałoznawcy, mamy taką nadzieję. Naukowcy i inżynierowie na całym świecie opracowują metody przedłużenia żywotności dróg i zmniejszania korków. W Holandii grupa inżynierów bada efekty wpuszczenia w smołę mikroskopijnych włókien stali. Nie zmienia to zbytnio mechanicznych właściwości drogi, lecz wyposaża ją w całkiem nowe cechy. Jeśli na taki materiał zadziałać zmiennym polem elektromagnetycznym, przez stalowe włókienka zacznie przepływać rozgrzewający je prąd, one zaś nagrzeją smołę, która w wybranych miejscach zyska większą płynność i zasklepi ewentualne pęknięcia. Chodzi tu zasadniczo o wzmocnienie samonaprawczych właściwości materiału oraz przeciwdziałanie skutkom niskich temperatur zimą. Technologię tę testuje się dziś na wybranych odcinkach holenderskiej autostrady, po których jeździ specjalny pojazd generujący pole elektromagnetyczne. Być może w przyszłości wszystkie samochody zostaną wyposażone w podobne urządzenie, a wówczas każdy użytkownik drogi, korzystając z niej, będzie jednocześnie przedłużał jej żywotność.

Innym rodzajem przeciwdziałania problemowi zmniejszenia swobody przepływu smoły jest uzupełnianie utraconych przez nią składników lotnych, od których zależy jej płynność. Najprościej robi się to, nanosząc na powierzchnię drogi specjalną substancję – odpowiednik kremu nawilżającego do rąk. Metodę tę rozwija obecnie zespół z Nottingham University pod kierownictwem doktora Alvaro Garcii. Badacze umieszczają w smole mikrokapsułki z olejem słonecznikowym, które pozostają nienaruszone do chwili pojawienia się drobnych uszkodzeń, a wówczas pękają. Uwolniony olej w newralgicznych

miejscach zwiększa płynność smoły, wzmacniając jej samonaprawcze właściwości. Z badań wynika, że dwa dni po uwolnieniu się oleju asfalt odzyskuje pełną wytrzymałość. To znakomity wynik. Szacuje się, że ta technologia może wydłużyć żywotność drogi o 12 do 16 lat przy minimalnym zwiększeniu kosztów budowy.

Z kolei nasz zespół badawczy w Institute of Making pracuje nad technologiami skutecznej naprawy odcinków asfaltu, na których zdążyły się już pojawić większe dziury. Otóż zaczęliśmy drukować smołę w drukarkach 3D.

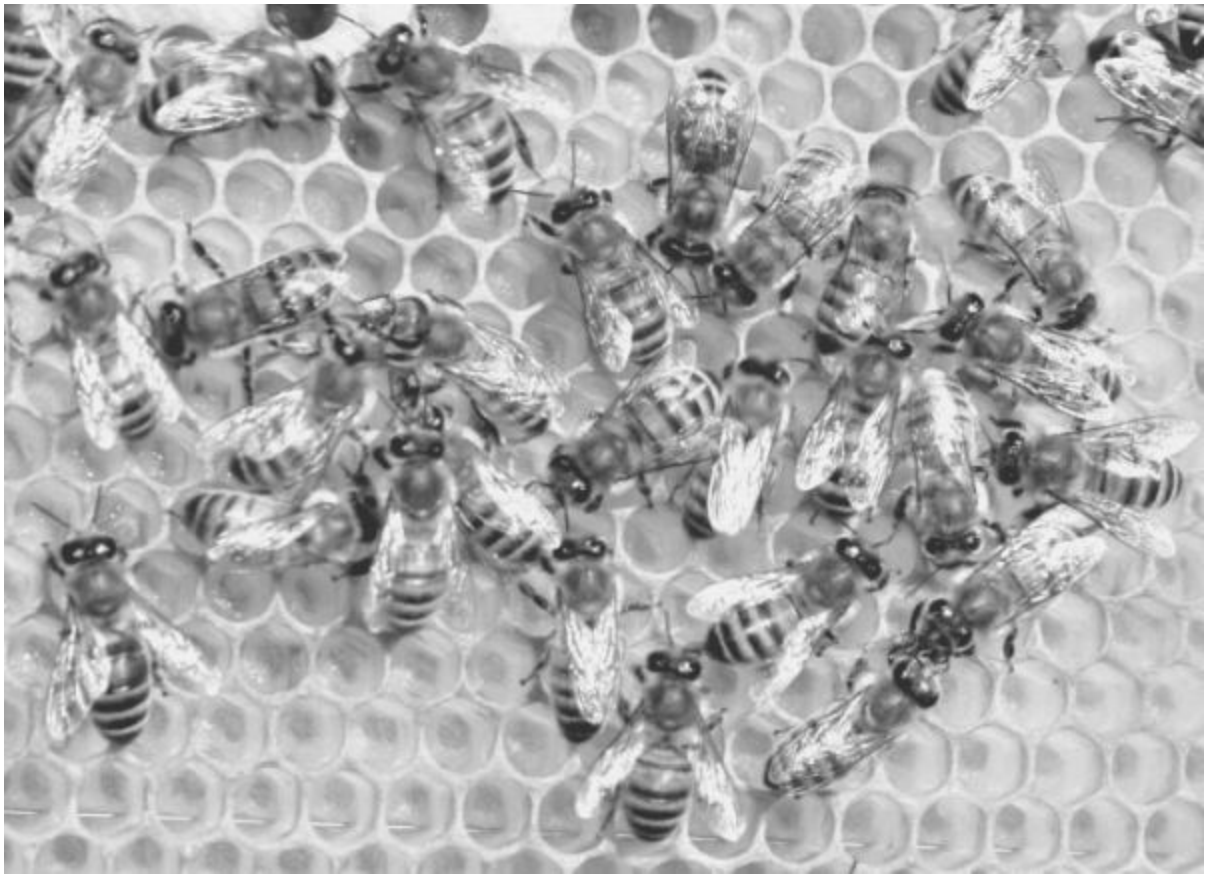
Drukowanie 3D to stosunkowo nowa technika wytwarzania i naprawiania obiektów. Tysiące lat temu w Chinach wynaleziono druk – za pomocą drewnianego klocka przenoszono tusz na kartkę. Reszta świata przejęła ten wynalazek i go ulepszyła, co zaowocowało powstaniem książek, gazet i czasopism – krótko mówiąc, rewolucją informacyjną. Ale mowa tu o druku w dwóch wymiarach. Druk 3D idzie o krok dalej. Zamiast nanosić cieniutkie warstewki cieczy na papier, pracująca w tej technologii drukarka nakłada kolejne jej warstwy na siebie i tak powstaje trójwymiarowy przedmiot.



Proces druku 3D. Głowica drukarki przekształca lity materiał w ciecz (zwykle przez podgrzanie), po czym wypluwa ustalony wzór na poziomą płaszczyznę x–y. Po schłodzeniu powstaje lita warstwa. Następnie blat drukarki obniża się i drukowana jest kolejna warstwa o innym wzorze. Po wydrukowaniu setek warstw powstaje gotowy przedmiot

Oczywiście do wydruku 3D nie stosuje się tuszu. Można użyć dowolnej cieczy zdolnej przeistoczyć się w ciało stałe. Spójrzmy na świat pszczół. Owady te w podobny sposób tworzą sześciokątne plastry miodu. Robotnice między dwunastym a dwudziestym dniem życia wykształcają specjalny gruczoł, który umożliwia przeobrażenie miodu w płatki miękkiego wosku. Przeżuwają go, a następnie nakładają warstwa po warstwie, formując sześciokątne komórki plastra. Na podobnej zasadzie swoje gniazda budują osy: przeżuwają włókna drzew i mieszając je ze śliną, tworzą domy dla larw.

Wynaleziona przez ludzi technologia druku 3D nadrabia dziś zaległości wobec metod stosowanych przez pszczoły i osy. Drukarka może na przykład wytryskiwać kolejne warstwy plastiku, tworząc lite obiekty o jeszcze bardziej skomplikowanej budowie niż plaster miodu, a nawet drukować przedmioty z ruchomymi częściami, co pozwala stosować tę technologię w medycynie do konstruowania niedrogich, wykonanych z jednego kawałka tworzywa protez o funkcjonalnych stawach. Drukuje się także materiały biologiczne. W 2018 roku chińscy naukowcy przeprowadzili pierwsze próby kliniczne na dzieciach urodzonych z deformacjami uszu. Wykorzystali wydrukowane „rusztowanie", w którym komórki własnej tkanki pacjentów rozrastały się, przybierając kształt małżowiny.



Pszczoły stosowały druk 3D do tworzenia plastrów miodu, na długo zanim ludzie opanowali tę technologię

Drukować można także z metalu. Holenderska firma MX3D drukuje stalowe mosty, łącząc warstwy stopionej stali za pomocą technik spawalniczych. Drukowanie z metalu możliwe jest też przy użyciu mocnego lasera, który roztapia i łączy drobiny metalicznego proszku. W ten sposób powstaje cały wachlarz przedmiotów – od biżuterii po części silników odrzutowych. Ważną zaletą tej metody jest to, że dzięki niej można łatwo wytwarzać przedmioty puste w środku, co pozwala zaoszczędzić na wadze i ilości materiału. Coraz więcej obiektów projektuje się tak, by przez ich wewnętrzne rurki mogły płynąć chłodziwa, lubrykanty czy nawet paliwa. Projekty takie naśladują budowę organizmów – sami wszakże składamy się po części z materii stałej, po części z cieczy. Krew rozprowadza składniki odżywcze w naszych organizmach, płynąc w układzie krążenia. W ten sposób białka i inne potrzebne cząsteczki docierają do uszkodzonych narządów, takich jak skóra, mózg, wątroba, nerki czy serce, sprzyjając odbudowie zniszczonych komórek. Oto kolejna właściwość natury, którą możemy dziś naśladować dzięki drukowi 3D. Nasze obiekty techniczne będą się same naprawiać, dzięki czemu przetrwają dłużej, oszczędzając przyrodę.

Produktem ubocznym obiegu płynów w ludzkim organizmie jest oczywiście powstawanie nieczystości, których trzeba się pozbyć. Oddanie pewnej ilości cieczy stało się dla mnie najpilniejszą sprawą, gdy jechałem autobusem do hotelu w San Francisco. Bardzo chciało mi się sikać. Dreptałem w miejscu podczas rejestracji w recepcji, po czym pognałem w stronę pokoju. Prawie się zmoczyłem, przesuwając raz za razem kartę w czytniku, lecz w końcu udało mi się otworzyć

drzwi. Uff, co za ulga!

Rozkosze domowej łazienki znacznie wykraczają poza zwykłą możliwość wysikania się, kiedy tylko zajdzie taka potrzeba. W łazience myjemy się, odświeżamy i pławimy w przyjemnościach. Jest to możliwe dzięki dostępowi do czystej bieżącej wody. Większość ludzi w krajach rozwiniętych uważa to za coś oczywistego, ponieważ infrastruktura wodno-kanalizacyjna pozostaje niewidoczna. Lecz ona istnieje – to ważna sieć miejska, której utrzymanie nawet w tak zasobnych w wodę miastach jak San Francisco generuje zaskakująco wysokie koszty. Kontrola przepływu ścieków oraz ich oczyszczanie, by mogły bezpiecznie wrócić do rzek i mórz, wymaga wielu urządzeń filtrujących, osadników i stacji uzdatniania, których działanie pochłania sporo pieniędzy i energii. W im większym stopniu pragniemy ograniczyć oddziaływanie ścieków na środowisko, tym wyższe musimy ponieść koszty i więcej wody przeznaczyć do rozcieńczenia materii opuszczającej oczyszczalnię. Oczyszczanie ścieków pochodzących z umywalek, pralek, pryszniców, wanien i toalet w mieście wielkości San Francisco nie jest więc wcale proste. Wodę pitną trzeba również uzdatniać, co wymaga kolejnych urządzeń filtrujących, pomp i stacji kontroli. Każdy taki cykl – od wody czystej do brudnej i z powrotem – pochłania energię i negatywnie oddziałuje na środowisko, ponieważ w jego trakcie powstają zanieczyszczenia.

W procesach wytwórczych także zużywa się ogromne ilości wody. Kupując większość towarów, zwiększacie swój „wodny ślad". Nawet jeśli bierzecie prysznic tylko dwa razy w tygodniu i używacie wodooszczędnej toalety, wasz wpływ na malejące zasoby wody i tak będzie spory. Szacuje się, że ślad wodny przeciętnego Amerykanina – spowodowany samą konsumpcją towarów jednorazowych, zwłaszcza pa-

pieru, mięsa i tekstyliów – wynosi 2206 litrów dziennie, gdyż produkcja tych dóbr pochłania wielkie ilości wody. Nawet pozornie zwyczajne czynności, takie jak jedzenie hamburgera, czytanie gazety czy kupowanie podkoszulka, znacznie zwiększają ślad wodny człowieka. Dlatego w mojej hotelowej łazience umieszczono naklejkę przypominającą, że woda jest cennym zasobem, oraz prośbę, bym nie domagał się codziennie świeżych ręczników.

W ciągu kilku następnych dekad liczba mieszkańców Ziemi ma przekroczyć 10 miliardów i przypuszcza się, że w wielu częściach świata będzie coraz trudniej o czystą wodę. Obecnie dostępu do niej nie ma miliard osób, a jedną trzecią ludzkości dotykają jej okresowe braki. Bez czystej wody wzrasta ubóstwo, niedożywienie i ryzyko wybuchu epidemii. Należy podkreślić, że problem ten dotyka zarówno wielkich miast, jak i społeczności wiejskich. Na przykład w 2015 roku w brazylijskim São Paulo wystąpiły poważne niedobory wody wywołane ciągiem susz, które doprowadziły do opróżnienia głównego rezerwuaru. Ocenia się, że w najgorszym momencie kryzysu miasto zamieszkiwane przez 21,7 miliona ludzi dysponowało zapasami wody wystarczającymi na zaledwie 20 dni. Wiele innych megamiast na świecie mierzy się z podobnymi problemami, wywoływanymi przez niestabilność klimatu, wzrost liczby mieszkańców oraz związany z bogaceniem się wzrost średniego indywidualnego śladu wodnego.

W zrównoważonym, zdrowym społeczeństwie polegamy nie tylko na wodzie, lecz także na innych cieczach. Niektóre mogą być zaskakujące: należy do nich na przykład ciekłe szkło. Spora część naszego pożywienia i napojów jest przechowywana i transportowana w szkle. Materiał ten znakomicie się do tego nadaje. Jest obojętny chemicznie i nie wchodzi w reakcję z zawartością słoika lub butelki, dzięki czemu

produkty dłużej nadają się do spożycia. Ale szkło ma tendencję do pękania, a wówczas stłuczkę trzeba stopić do postaci cieczy, by wykonać z niej kolejne naczynie. Robi się tak od tysięcy lat – to obieg wtórnego wykorzystywania odpadów.

Szkło nie jest jednak idealnym materiałem opakowaniowym na żywność i napoje. Sporo waży, więc transportowanie go pochłania dużo energii. Z jego przetopem wiąże się podobny problem, ponieważ ma wysoką temperaturę topnienia. Z obu tych powodów w świecie zależnym w znacznej mierze od paliw kopalnych szklane pojemniki zwiększają problemy powodowane przez zmianę klimatu.

W XX wieku nastąpił więc zwrot ku plastikowym opakowaniom, które są lekkie i elastyczne, a przy tym na ich przetworzenie nie potrzeba wiele energii. Tak jest przynajmniej w teorii. Rzeczywistość wygląda całkiem inaczej. Opracowano mnóstwo różnych rodzajów plastikowych opakowań, z których każdy zachwycał znakomitymi zdolnościami ochrony pożywienia, napojów, elektroniki i tak dalej. Nikt się jednak nie zastanowił, co stanie się z tymi tworzywami, jeśli zostaną wspólnie zebrane, przetworzone i przetopione. W takim procesie powstaje zmieszany plastik niskiej jakości, niezdolny do pełnienia pierwotnych funkcji, ponieważ cząsteczki węglowodorów, z których składa się dane tworzywo, muszą być chemicznie związane w konkretny sposób – tworzą we wnętrzu materiału specyficzne struktury, określające jego wytrzymałość, elastyczność i przejrzystość. Jeśli stopi się razem różne rodzaje plastiku, nie wyjdzie z tego nic dobrego. Trzeba je więc starannie segregować, by znów nadawały się do użycia. Ponieważ powszechnie wykorzystuje się ponad 200 rodzajów tworzyw sztucznych, a każdy produkt na rynku pakowany jest w kilka ich rodzajów we wszystkich kolorach tęczy, segregacja plastiku oka-

zuje się kosztownym zadaniem. Nie znamy jeszcze efektywnej metody jego utylizacji.

Niestety, większość plastikowych opakowań na świecie w ogóle nie trafia do recyklingu, co zbliża nas do katastrofy ekologicznej. Wysypiska są przeładowane tworzywami, a ponieważ opakowania specjalnie produkuje się tak, by były lekkie, unosi je wiatr. W dodatku nie toną w wodzie, więc gdy trafiają do rzek, w końcu docierają do mórz i oceanów, zanieczyszczając ich ekosystemy. Odbywa się to na coraz większą skalę. Szacuje się, że jeśli tak dalej pójdzie, w 2050 roku w oceanach będzie więcej plastiku niż ryb.

Nie istnieje proste rozwiązanie plastikowego problemu. Jak wspomniałem, zastąpienie go szkłem prowadzi do zwiększonego zużycia energii, która się nie odnawia, jeżeli nie pochodzi z odnawialnych źródeł. Można zastąpić tworzywa papierem, lecz jego produkcja pochłania więcej energii i wody niż wyrób plastiku. Rozsądną alternatywą wydaje się używanie mniejszej liczby opakowań. Ale rolnictwo i produkcja to branże konsumujące mnóstwo wody i jeśli ograniczenie pakowania miałoby doprowadzić do zwiększenia ilości marnowanych dóbr, mogłoby się okazać, że w skali świata tracimy ogółem więcej wody i żywności. W ten sposób problem ekologicznych opakowań zatacza krąg, tak jak to się często dzieje, gdy w grę wchodzą ciecze.

Dlatego wiele się spodziewałem po konferencji na temat ekologicznych technologii, na którą leciałem 8000 kilometrów. Czy uczestnicy zainteresują się naszymi badaniami nad samonaprawiającym się miastem i smołą z drukarki 3D, czy też dyskusja dotyczyć będzie raczej tańszych metod odsalania wody lub zielonych opakowań? Tak czy inaczej, wiedziałem, że dobre rozeznanie we właściwościach cieczy będzie w niej miało duże znaczenie. Spojrzałem na zegarek. Nie-

bawem miało się rozpocząć spotkanie inauguracyjne. Przemyłem twarz wodą, by odroczyć skutki jet lagu, po czym zszedłem na dół do centrum konferencyjnego.

Gdy dotarłem na miejsce, ujrzałem widok, jakiego się nie spodziewałem: na scenę wkraczała właśnie Susan. Kobieta, którą tak dobrze poznałem – spędziłem wszak 11 godzin, siedząc w fotelu obok niej – okazała się inżynierką. I to nie byle jaką, lecz głównym mówcą na wykładzie, na który specjalnie przeleciałem pół świata. Błyskotliwie i z wielką znajomością rzeczy przemawiała na temat skomplikowanych wyzwań zrównoważonego rozwoju, jakie przed nami stoją. Ale prawdę mówiąc, nie potrafiłem się skupić na jej słowach – tak bardzo byłem na siebie zły, że nie zagadnąłem jej w samolocie.

Po prezentacji Susan postanowiłem do niej podejść i porozmawiać. Czekałem w kolejce, a ona bez pośpiechu zamieniała po kilka słów z osobami, które się wokół niej tłoczyły. Kiedy nadeszła moja kolej, siląc się na nonszalancki ton, powiedziałem z uśmiechem:

– Fajny wykład.

Spojrzała na mnie zaskoczona, najwyraźniej próbując sobie przypomnieć, skąd mnie zna, aż w końcu kawałki układanki wskoczyły na swoje miejsce.

– Pewnie chce pan odzyskać długopis – powiedziała.

Epilog

W książce tej starałem się pokazać, że moja podróż z Londynu do San Francisco stała się nie tylko możliwa, ale i przyjemna dzięki temu, że zrozumieliśmy i okiełznaliśmy naturę wielu różnych cieczy: od nafty, przez kawę i żywice epoksydowe, po ciekłe kryształy. Istnieje wiele cieczy, o których nie wspomniałem, ale moim celem nie było stworzenie ich kompletnego katalogu. Zamierzałem raczej odmalować obraz naszego związku z cieczą, stanem skupienia materii, który próbujemy opanować od tysięcy lat – kuszącym, choć złowieszczym, odświeżającym, lecz śluzowatym, życiodajnym, a przy tym wybuchowym, pysznym, ale trującym. Na razie przeważnie udaje nam się wykorzystać zalety cieczy, a jednocześnie uniknąć ich szkodliwego wpływu (pomijając może fale tsunami i podnoszący się poziom oceanów). Sądzę, że w przyszłości będziemy z nich korzystać równie chętnie jak dawniej, a człowiek będzie coraz lepiej rozumiał naturę cieczy.

Weźmy na przykład medycynę. Do większości badań potrzebna jest próbka krwi lub śliny, za pomocą której lekarze diagnozują chorobę lub monitorują stan zdrowia pacjenta. Testy takie prawie zawsze trzeba przeprowadzać w laboratorium, są kosztowne i długotrwałe. By się im poddać, trzeba pójść do lekarza albo do szpitala, co nie zawsze jest możliwe, zwłaszcza w krajach o ograniczonym dostępie obywateli do opieki zdrowotnej. Lecz nowy wynalazek – tak zwane laboratorium na chipie – może zmienić ten stan rzeczy: badania diagnostyczne przeprowadzimy w domu, wyniki poznamy niemal od ręki, a wszystko to będzie bardzo tanie.

Technologia tego typu polega na umieszczaniu niewielkich próbek płynów ustrojowych w małym urządzeniu, które bada ich skład biochemiczny. Chip analizuje ciecz, podobnie jak układ krzemowy przetwarza informacje. Krew – czy inny płyn – wpływa do układu mikroskopijnych rurek, gdzie zostaje pokierowana w różne strony do różnych rodzajów badań. Technologia ta dopiero raczkuje, lecz szykujcie się na to, że za parę lat usłyszycie o niej więcej. Urządzenia, które mogą zdiagnozować najróżniejsze przypadłości, od choroby serca, przez infekcję bakteryjną, po wczesną postać raka, mogą stanąć na czele rewolucji technologicznej w medycynie na miarę tej, jaka zaszła w branży IT – lecz tym razem będzie to rewolucja oparta na cieczach.

By laboratorium na chipie mogło działać, musi korzystać z mechanizmu pozwalającego na poruszanie i manipulowanie malutkimi ilościami cieczy. Organizmy radzą sobie z tym znakomicie. Wystarczy przejść się po ogrodzie podczas deszczu, by zobaczyć, jak skutecznie krople są odpychane przez liście. Od dawna obserwowano silne właściwości hydrofobowe liści lilii wodnej, lecz nikt nie potrafił wyjaśnić ich przyczyny. Zmieniło się to dopiero niedawno, kiedy powierzchnię tych liści przebadano za pomocą mikroskopów elektronowych. Jak podejrzewano, są pokryte woskowatą, odpychającą wodę substancją. Lecz, co zaskakujące, substancja ta tworzy na powierzchni liścia miliardy mikroskopijnych wypukłości. Padająca woda stara się zminimalizować obszar kontaktu z liściem, ponieważ powstaje między nimi wysokie napięcie powierzchniowe. Dzięki mikrowypukłościom woskowata powierzchnia liścia jest znacznie większa niż jego obrys, toteż kropla opiera się tylko na szczytach wypustek. Mając tak chwiejne podparcie, zaczyna się ześlizgiwać z liścia, zabierając z sobą po drodze drobinki pyłów niczym miniaturowy mop. Oto sekret

błyszczącej i czystej powierzchni liliowych liści.

Nadawanie powierzchniom różnych materiałów właściwości superhydrofobowych może się okazać dochodową branżą w nadchodzących latach. Kierowanie przepływem kropelek wewnątrz laboratorium na chipie to dopiero początek. Będziemy mogli na przykład tworzyć szyby, które odpychają wodę i pozostają czyste niczym liść lilii wodnej. Stworzymy wodoodporną odzież, po której woda ścieka rurkami do zbiorniczków, skąd można ją później wypić. Pomysł ten podpatrzyliśmy u jaszczurki zwanej molochem straszliwym, która nawadnia się padającą na jej skórę deszczówką. Przepływ wody mikrokanalikami do jej pyszczka opiera się na zasadzie zjawiska włoskowatości.

Na podobnych technologiach gromadzenia czystej wody mogłyby skorzystać miliardy ludzi pozbawionych regularnego do niej dostępu, zwłaszcza jeśli opracujemy tanie metody filtracji. Być może posłuży do tego nowy materiał zwany tlenkiem grafenu. To dwuwymiarowa warstwa atomów węgla i tlenu. Działa jak membrana, która nie przepuszcza większości cząsteczek chemicznych, lecz umożliwia swobodny przepływ wody, stanowiąc coś w rodzaju sita molekularnego. Być może uda się na jego podstawie zbudować bardzo skuteczne i tanie filtry, dzięki którym nawet woda morska okaże się zdatna do picia.

Kolczasty moloch straszliwy gromadzi wodę przez skórę dzięki materiałom hydrofobowym i zjawisku włoskowatości

Jak wiadomo, woda jest życiodajną substancją i powszechnie uważa się, że jej obecność w postaci ciekłej umożliwiła ewolucję życia na Ziemi od najprostszych struktur chemicznych po złożone układy komórek, z których jesteśmy zbudowani. Mechanizm ten wciąż pozostaje jednak w sferze hipotez. W rzeczywistości nie znamy początku dziejów życia. Naukowcy na całym świecie prowadzą eksperymenty mające odtworzyć warunki chemiczne panujące na Ziemi 4 miliardy lat temu. Obecnie najbardziej prawdopodobne wydaje się, że życie narodziło się w głębinach oceanów. Kominy termalne tworzą tam złożony bulion chemiczny, w którym znajdujemy wiele cegiełek budulcowych naszych komórek. W kolejnych dekadach XXI wieku eksploracja głębin będzie dla nas ważnym przedsięwzięciem. To przecież dziwne, że mniej wiemy o odmętach naszych mórz niż o powierzchni

Księżyca.

O ile kolejną granicą do przekroczenia w świecie materialnym będzie dla nas toń oceanów, o tyle w dziedzinie obliczeń zbliżamy się do pokonania dwóch innych barier, które także wiążą się z cieczami. Zarówno komórki, jak i komputery przetwarzają informacje, ale robią to na różne sposoby. Komórki funkcjonują i rozmnażają się, korzystając z przechowywanych w DNA informacji, do których uzyskują dostęp za pośrednictwem reakcji chemicznych. Z kolei zbudowane na bazie krzemu komputery odczytują informacje zawarte w chipach mieszczących miliardy tranzystorów, które reagują na sygnały elektryczne wygenerowane na podstawie programu, a przekazywane jako serie zer i jedynek, czyli w binarnym języku urządzeń cyfrowych. Tranzystory przeliczają ten strumień danych zgodnie z zasadami logiki i zapisują wynik przy użyciu takiego samego kodu w innym obszarze chipa. Wydaje się to bardzo proste, lecz jeśli maszyna przeprowadza miliardy takich podstawowych operacji na sekundę, potrafi dokonywać bardzo wyrafinowanych kalkulacji, pozwalających na przykład pokonać mistrza szachowego lub obliczyć trajektorię rakiety zmierzającej na Księżyc.

Komórki nie mają żadnych chipów ani ścieżek – zamiast tranzystorów wykorzystują zachodzące w wypełniającej je cieczy reakcje chemiczne i komunikują się językiem molekuł, a nie zer i jedynek. Dzieje się to niezwykle szybko i w całej komórce jednocześnie, dzięki czemu taki system obliczeń równoległych działa wyjątkowo wydajnie. Komórki są ponadto bardzo małe – ich tryliard (1 000 000 000 000 000 000 000) mieści się w jednej kropli cieczy i stanowi potencjalnie olbrzymie źródło mocy obliczeniowej oraz pamięci.

Naukowcy próbują naśladować te procesy i za pomocą DNA stworzyć ciekły komputer. Prace postępują szybko, gdyż metody manipulowania DNA i prowadzenia obliczeń w probówkach stają się coraz bardziej wyrafinowane i łatwiej dostępne. W 2013 roku badacze odnieśli ważny sukces: zdołali zapisać w cieczy dane zdjęcia cyfrowego, a następnie je odkodować. Otwiera to wrota do zupełnie nowej dziedziny obliczeniowej. Być może w przyszłości będziemy mogli zawrzeć wszystkie potrzebne nam dane w jednej kropli cieczy.

Technika obliczeń w cieczy to tylko pierwsza z wielu niesamowitych metod obliczeniowych, które się obecnie rozwija. Drugą są obliczenia kwantowe oparte na kwantowej wersji logiki binarnej, która zakłada, że aż do chwili zakończenia obliczenia informacja przechowywana w komputerze przyjmuje zarówno wartość 1, jak i 0. Ten tryb pracy wykorzystuje reguły mechaniki kwantowej, zgodnie z którymi wszystkie możliwe efekty jakiegoś zdarzenia istnieją jednocześnie, można więc obliczać wszystkie rozwiązania danego problemu w tej samej chwili, co znacznie przyspiesza cały proces. Już dziś istnieją maszyny działające na tej zasadzie, lecz na razie są dość proste. Co istotne, do działania potrzebują bardzo niskiej temperatury, którą można uzyskać tylko za pomocą wyjątkowego płynu – ciekłego helu.

Hel pozostaje gazem po schłodzeniu do –269°C, po przekroczeniu tego progu, który plasuje się zaledwie 4,15°C powyżej zera absolutnego, zamienia się zaś w ciecz. Na szczęście dzięki doświadczeniu w posługiwaniu się urządzeniami medycznymi wiemy, jak obchodzić się z ciekłym helem. Jeśli doznaliście urazu mózgu, biodra, kolana czy kostki lub zdiagnozowano u was raka, najprawdopodobniej wykonano wam badanie metodą rezonansu magnetycznego. Bez ciekłego helu wykorzystywane do tego maszyny po prostu przestałyby działać. W

chłodzie zapewnianym przez ciekły hel urządzenie do rezonansu może sprawnie wykrywać drobne zmiany w generowanym przez ludzkie ciało polu magnetycznym, tworząc mapę narządów wewnętrznych. Lecz choć hel jest jednym z najpowszechniejszych pierwiastków we wszechświecie, na Ziemi o niego niełatwo. Dziś w szpitalach dość często zdarzają się niedobory helu, a jego zapasy szybko się kończą. Geolodzy szukają więc coraz to nowych źródeł helu w skorupie ziemskiej, gdzie przeważnie występuje on pod postacią naturalnego gazu. Ponieważ ma tak ważne zastosowania, jego ceny podskoczyły o 500 procent w ciągu ostatnich 15 lat.

Ciekły hel jest równie przydatny, co nieposłuszny. Pozwala sprawnie działać urządzeniom medycznym w temperaturze –269°C, lecz wystarczy schłodzić go o kolejne 3°C, by przeszedł w stan tak zwanej nadciekłości. Wówczas wszystkie atomy w cieczy przyjmują ten sam stan kwantowy, co oznacza, że miliardy miliardów molekuł helu zaczynają się zachowywać jak jedna cząsteczka. Nadaje to płynowi osobliwe właściwości – jego lepkość spada do zera i samoczynnie wypływa on z naczynia. Przecieka bez żadnego oporu nawet przez lite przedmioty, odnajdując w nich szczelinki o wielkości choćby atomu.

Mam jednak nadzieję, że na tym etapie lektury tego typu zachowanie cieczy już was nie zaskakuje. Ciecze mają dwoistą naturę: nie są ani gazami, ani ciałami stałymi, lecz czymś pomiędzy. Z jednej strony budzą fascynację i dysponują ogromną mocą, z drugiej – bywają niepokorne i trochę groźne. Taki już jest ich charakter. Mimo wszystko nasze umiejętności panowania nad nimi w większości przypadków korzystnie wpłynęły na rozwój ludzkości i jestem pewny, że pod koniec XXI wieku będziemy wspominać wynalezienie laboratoriów na chipie i tanich technik odsalania wody jako ważne osiągnięcia, które

doprowadziły do wydłużenia ludzkiego życia oraz zapobiegły masowym migracjom i konfliktom. Mam nadzieję, że wówczas już na dobre pożegnamy się z paliwami kopalnymi, zwłaszcza z naftą. Płyn ten pozwolił nam odbywać tanie międzynarodowe podróże, wyjeżdżać na słoneczne wakacje i zażywać ekscytujących przygód, ale jego wpływ na globalny klimat jest zbyt duży, by ten problem lekceważyć. Jaką ciecz wynajdziemy, by zastąpić nią naftę? Tego nie wiem, jednak rytuał bezpieczeństwa przed lotem z pewnością nie zaniknie. Być może w jego trakcie nie będzie się już używać rekwizytów takich jak kamizelki ratunkowe, maski tlenowe czy pasy, lecz nigdy na dobre nie zrezygnujemy z obrzędów dla uczczenia niebezpiecznych i cudownych cieczy.

Polecana lektura

Philip Ball, *Bright Earth: Art and the Invention of Colour*, Vintage Books 2001.

Michael Faraday, *Dzieje świecy*, tłum. Maria i Stanisław Kalinowscy, Prószyński i S-ka 1997.

Ronald Fisher, *The Design of Experiments*, Oliver and Boyd 1951.

Alok Jha, *The Water Book*, Headline 2016.

Herman Melville, *Moby Dick*, tłum. Bronisław Zieliński, PIW 2018.

Michel Mitov, *Sensitive Matter: Foams, Gels, Liquid Crystals, and Other Miracles*, Harvard University Press 2012.

Gavin Pretor-Pinney, *The Cloudspotter's Guide*, Sceptre 2007.

Mary Roach, *Gulp: Adventures on the Alimentary Canal*, Oneworld 2013.

Adam Rogers, *Proof: The Science of Booze*, Mariner Books 2015.

David Salsburg, *The Lady Tasting Tea: How Statistics Revolutionized Science in the Twentieth Century*, Holt McDougal 2012.

Charles Spence, Bentina Piqueras-Fiszman, *The Perfect Meal: The Multisensory Science of Food and Dining*, Wiley-Blackwell 2014.

Tom Standage, *Historia świata w sześciu szklankach*, tłum. Piotr J. Szwajcer, Anna E. Eichler, CiS 2007.

Mark Vanhoenacker, *Skyfaring: A Journey with a Pilot*, Chatto & Windus 2015.

Cytat z powieści Oscara Wilde'a *Portret Doriana Graya* w przekładzie Marii Feldmanowej.

Podziękowania

Bardzo dziękuję moim redaktorom, Danielowi Crewe i Naomi Gibbs, za cierpliwość, wsparcie i przenikliwą krytykę tekstu, a także znoszenie mojej obsesji na punkcie instruktażu bezpieczeństwa przed lotem.

Pracuję w Institute of Making w zespole naukowców, artystów, wytwórców, inżynierów, archeologów, projektantów i antropologów. Wszyscy oni w ten czy inny sposób pomogli mi w napisaniu tej książki. Za przyjaźń i wsparcie dziękuję całej ekipie, do której należą: Zoe Laughlin, Martin Conreen, Ellie Doney, Sarah Wilkes, George Walker, Darren Ellis, Romain Meunier, Necole Schmitz, Elizabeth Corbin, Sara Brouwer, Beth Munro oraz Anna Ploszajski.

Institute of Making wchodzi w skład University College London, uczelni, która w ramach działalności pedagogicznej i badawczej buduje mosty między różnymi dyscyplinami. Dzięki wielu moim współpracownikom jest miejscem niezwykle ożywionym intelektualnie. Wyrazy uznania niech zechcą przyjąć: Buzz Baum, Andrea Sella, Guillaume Charras, Yiannis Ventikos, Mykal Riley, Mark Lythgoe, Helen Czerski, Rebecca Shipley, David Price, Nick Tyler, Matthew Beaumont, Nigel Titchener-Hooker, Marc-Olivier Coppens, Paola Lettieri, Anthony Finkelstein, Polina Bayvel, Cathy Holloway, Richard Catlow, Nick Lane, Aarathi Prasad, Manish Tiwari, Richard Jackson, Mark Ransley i Ben Oldfrey.

W Wielkiej Brytanii działa wyjątkowo aktywne środowisko naukowców oraz inżynierów, a jego współtworzenie przez tak wiele lat

było dla mnie prawdziwą przyjemnością. Mam nadzieję, że następujące osoby przyjmą moje wyrazy wdzięczności za okazywane mi wsparcie: Mike Ashby, Athene Donald, Molly Stevens, Peter Haynes, Adrian Sutton, Chris Lorenz, Jess Wade, Jason Reese, Raul Fuentes, Phil Purnell, Rob Richardson, Iain Todd, Brian Derby, Marcus Du Sautoy, Jim Al Khalili, Alom Shaha, Alok Jha, Olivia Clemence, Olympia Brown, Gail Cardew, Suze Kundu, Andres Tretiakov, Alice Roberts, Greg Foot, Timandra Harkness, Gina Collins, Roger Highfield, Vivienne Parry, Hannah Devlin i Rhys Morgan.

Wdzięczność winien jestem zwłaszcza osobom, które udzielały mi wskazówek podczas pisania. Są to: Ian Hamilton, Sally Day, John Comisi, Rhys Phillips, Clare Pettit i Sarah Wilkes. Andrea Sella, Philip Ball, Sophie Miodownik, Aron Miodownik, Buzz Baum oraz Enrico Coen przeczytali szkic całości i bardzo mi pomogli, wyrażając swoje opinie.

Pragnę podziękować mojemu agentowi literackiemu Peterowi Tallackowi, który sprawił, że wstępny zamysł książki nabrał realnych kształtów, oraz całemu zespołowi wydawnictwa Penguin Random House za udział w procesie jej powstawania.

Jestem bardzo wdzięczny George'owi Wrightowi, Lal Hitchcock oraz Diane Storey za ogromne wsparcie i wiele cudownych wspólnych dni, które spędziłem w Dorset, pracując nad tekstem.

Dziękuję także moim dzieciom, Lazlo i Idzie, za okazywanie niewyczerpanego entuzjazmu dla świata cieczy i pomoc w bardzo ekscytującym etapie prac nad książką – prowadzeniu doświadczeń.

Na koniec pragnę podziękować ukochanej Ruby Wright za to, że była moją redaktorką naczelną i obdarzyła mnie twórczym natchnieniem.

Źródła ilustracji

Nartnik: Copyright © Alice Rosen
Polowanie na kaszalota: Copyright © Yale University Art Gallery
Rafineria naftowa: © Kyle Pearce
Efekt Marangoniego: fotografia autora
Autor w dublińskim kąpielisku Forty Foot: fotografia autora
Nadejście tsunami: Copyright © David Rydevik
Mrówka uwięziona w bursztynie: Copyright © Anders L. Damgaard
Krzesło zaprojektowane przez Charlesa i Ray Eamesów: Copyright © Steven Depolo
Linoryt Ruby Wright zatytułowany *Secret Lemonade Drinker*: Copyright © Ruby Wright
Obiad w samolocie: fotografia autora
Plantacja herbaty: Copyright © HolyWiz
Syrop herbaciany: fotografia autora
Wypalanie kawy: fotografia autora
Kafeterka: fotografia autora
Fragment zwoju papirusu z *Księgi zmarłego skarbnika Sobekmose* ze świątyni Amona: Copyright © Brooklyn Museum
Eksperyment kropli smoły: Copyright © The University of Queensland
Plastry miodu: Copyright © Frank Mikley
Moloch straszliwy: Copyright © Bäras

Tytuł oryginału:
Liquid. The Delightful and Dangerous Substances That Flow through Our Lives

Redakcja merytoryczna: dr hab. inż. Remigiusz Kowalik
Redakcja: Maciej Robert
Korekta: Agnieszka Stęplewska, Paulina Lenar
Opieka redakcyjna: Ewa Ślusarczyk
Projekt okładki: Wojtek Kwiecień-Janikowski
Konwersja do formatów EPUB i MOBI: Małgorzata Widła

Original English language edition first published by Penguin Books Ltd, London-
Text copyright © Mark Miodownik 2018
The author has asserted his moral rights
All rights reserved

Copyright © for the translation by Dariusz Żukowski, 2020

130. książka wydawnictwa Karakter

ISBN 978-83-66147-38-6

Wydawnictwo Karakter
ul. Grabowskiego 13/1, 31-126 Kraków
karakter.pl

1 W Polsce benzynę z tetroetyloołowiem stosowano w motoryzacji do początku 2005 roku. Została wycofana na mocy zakazu wprowadzonego przez prawo unijne (przyp. tłum.).